



**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**Estimasi Lokasi Gangguan dengan Metode *Extended Impedance Based Fault Location* pada Sistem Distribusi Aktif Tidak Seimbang**

Christian Togi Sihol Pardamean  
NRP 2213 100 108

Dosen Pembimbing  
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D  
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



**FINAL PROJECT - TE 141599**

***Fault Location Estimation Using Extended  
Impedance Based Fault Location Method in  
Unbalance Active Distribution System***

Christian Togi Sihol Pardamean  
NRP 2213 100 108

Supervisors

Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D  
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Electrical Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **“Estimasi Lokasi Gangguan dengan Metode *Extended Impedance Based Fault Location* pada Sistem Distribusi Aktif Tidak Seimbang”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 25 Juli 2017

Christian Togi Sihol Pardamean  
2213 100 108

**ESTIMASI LOKASI GANGGUAN DENGAN METODE  
EXTENDED IMPEDANCE BASED FAULT LOCATION PADA  
SISTEM DISTRIBUSI AKTIF TIDAK SEIMBANG**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Teknik Sistem Tenaga  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

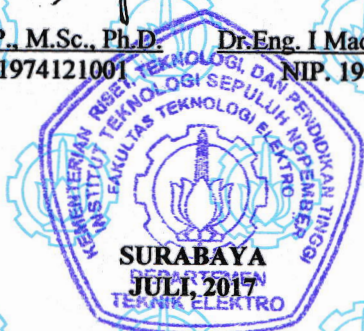


Prof. Ir. Ontoseno P., M.Sc., Ph.D.  
NIP. 194907151974121001

Dosen Pembimbing II



Dr. Eng. I Made Yulistya N., ST., M.Sc.  
NIP. 197007121998021001



# **Estimasi Lokasi Gangguan dengan Metode *Extended Impedance Based Fault Location* pada Sistem Distribusi Aktif Tidak Seimbang**

Nama : Christian Togi Sihol Pardamean  
Pembimbing 1 : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D  
Pembimbing 2 : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

## **ABSTRAK**

Sistem kelistrikan sering mengalami gangguan, terlebih pada gangguan hubung singkat yang merupakan gangguan yang sering terjadi. Dengan metode impedansi, jarak gangguan dapat ditemukan dengan mempertimbangkan tegangan pada gardu induk, arus gangguan yang terjadi pada bus, dan impedansi saluran yang dilalui. Pada metode ini, akan diperoleh jarak dengan menentukan nilai  $x$ , dengan  $x$  memiliki nilai antara 0 sampai 1, yang merepresentasikan jarak saluran. Pada Tugas Akhir, selisih jarak terbesar yang diperoleh pada gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah sebesar  $1,751 \times 10^{-11}$  meter, pada gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah sebesar  $1,091 \times 10^{-11}$  meter, dan pada gangguan fasa ke fasa sebesar  $4,548 \times 10^{-12}$  meter.

Pada tugas akhir ini, akan dilakukan perhitungan estimasi lokasi gangguan yang berdasarkan impedansi pada sistem distribusi aktif tidak seimbang. Dengan metode analitis menggunakan impedansi, akan diperoleh letak lokasi gangguan dan dibandingkan dengan lokasi aktual gangguannya.

**Kata Kunci:** Lokasi gangguan, impedansi, distribusi

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# ***Fault Location Estimation Using Extended Impedance Based Fault Location Method in Unbalance Active Distribution System***

Name : Christian Togi Sihol Pardamean  
Advisor 1 : Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D  
Advisor 2 : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

## **ABSTRACT**

Electrical power system often has faults, especially short-circuit fault. This fault is hard to detect and be handled if it happens in distant distribution networks. The distance, which is hard to detect, makes it difficult to be handled quickly. Using the proposed method, fault location can be estimated considering voltage in substation, short circuit current at bus fault, and line impedance. In proposed method, can be obtained value of  $x$ , with  $x$  is between 0 until 1, as representation of line distance. In this study, the longest distance error of short circuit single line to ground fault is  $1,751 \times 10^{-11}$  meter, double line to ground fault is  $1,091 \times 10^{-11}$  meter, and phase to phase fault is  $4,548 \times 10^{-12}$  meter.

In this study, the estimation of fault location will be calculated based on the impedance of the unbalanced active distribution system. With impedance-based analytical method, an estimation of the fault location will be obtained and compared with the actual fault location.

**Kata Kunci:** *fault location, impedance, distribution*

***Halaman ini sengaja dikosongkan***



## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan berkat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan buku Tugas Akhir ini dengan judul:

### **Estimasi Lokasi Gangguan dengan Metode *Extended Impedance Based Fault Location* pada Sistem Distribusi Aktif Tidak Seimbang**

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga di Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung penulis selama proses menyelesaikan Tugas Akhir ini, khususnya kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, rahmat, dan kasih-Nya kepada penulis sehingga dapat menjalani proses pengerjaan Tugas Akhir ini dengan baik.
2. Kedua orangtua tercinta, Bapak Rhamses Hasibuan dan Ibu Ruth Yenny Muliawati, yang sudah memberikan dukungan, doa, dan bantuan dalam bentuk apapun kepada penulis selama penulis melaksanakan kegiatan perkuliahan di ITS.
3. Christinauly Hasibuan, kakak yang selalu menyemangati di saat kegagalan selalu terjadi selama proses pengerjaan Tugas Akhir, termasuk saat menyelesaikan seluruh persyaratan yang ada di kampus.
4. Bapak Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D dan Bapak Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc. selaku dosen pembimbing, yang telah memberikan segala ilmu dan waktu kepada penulis, khususnya selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
5. Kakak, Christinauly Hasibuan, yang selalu memberikan dukungan dan doa, yang membuat penulis terus semangat dalam berkuliah, khususnya dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
6. Teman-teman anggota Lab. PSSSL, khususnya Indrawan selaku teman se-Topik Tugas Akhir, yang sudah banyak membantu penulis dalam proses pengerjaan Tugas Akhir.

7. Teman-teman pejuang Tugas Akhir, Brilian, Renato, Pius, dan Erwin, yang sudah memberikan saran, bantuan, dan pembelajaran selama penulis berkuliah, khususnya di saat mengerjakan Tugas Akhir.

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini penulis menyadari adanya keterbatasan. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka terhadap segala bentuk kritik dan saran untuk perbaikan Tugas Akhir ini.

Semoga buku Tugas Akhir ini dapat menjadi sumber informasi dan bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan mahasiswa Departemen Teknik Elektro bidang studi Teknik Sistem Tenaga pada khususnya. Selain itu, semoga Tugas Akhir ini diharapkan mampu memberi kontribusi terhadap perkembangan keilmuan, khususnya di bidang sistem tenaga listrik.

Surabaya, Juni 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR KEASLIAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	1
1.3 Tujuan .....	1
1.4 Batasan Masalah .....	1
1.5 Metodologi .....	2
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
1.7 Relevansi .....	3
BAB II SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK .....	5
2.1 Sistem Tenaga Listrik .....	5
2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik .....	6
2.2.1 Jenis Saluran Distribusi .....	9
2.2.2 Pembangkit Terdistribusi .....	10
2.3 Gangguan Hubung Singkat .....	11
2.3.1 Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah .....	11
2.3.2 Gangguan Hubung Singkat Fasa ke Fasa .....	13
2.3.3 Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah .....	14
2.3.4 Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa ke Tanah .....	15
2.4 Penentuan Lokasi Gangguan .....	15
BAB III PEMODELAN SISTEM .....	17
3.1 Pemodelan Sistem .....	17
3.2 Algoritma Penentuan Lokasi Gangguan .....	17
3.3.1 Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah .....	19
3.3.2 Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah .....	20
3.3.3 Gangguan Hubung Singkat Fasa ke Fasa .....	21
3.3 Sistem Kelistrikan .....	23
BAB IV SIMULASI dan ANALISIS .....	29

4.1 Simulasi Gangguan pada Penyulang.....	29
4.2 Perhitungan Estimasi Lokasi Jarak Gangguan.....	36
4.3 Perhitungan Estimasi Lokasi Jarak Gangguan pada Kasus 1 ..	37
4.4 Perhitungan Estimasi Lokasi Jarak Gangguan pada Kasus 2 ..	39
4.5 Perhitungan Estimasi Lokasi Jarak Gangguan pada Kasus 3 ..	41
BAB V PENUTUP.....	45
5.1 Kesimpulan .....	45
5.2 Saran .....	45
DAFTAR PUSTAKA.....	47
BIODATA PENULIS.....	49

## TABLE OF CONTENT

COVER PAGE	
SHEET OF AUTHENTICITY	
VALIDITY SHEET	
ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	iii
PREFACE .....	v
TABLE OF CONTENT .....	vii
LIST OF FIGURES .....	ix
LIST OF TABLES .....	xi
CHAPTER I PRELIMINARY .....	1
1.1 Backgrounds .....	1
1.2 Problems .....	1
1.3 Objectives .....	1
1.4 Problem Limitation .....	1
1.5 Methodology .....	2
1.6 Systematics .....	3
1.7 Relevance .....	3
CHAPTER II DISTRIBUTION POWER SYSTEM .....	5
2.1 Power System .....	5
2.2 Distribution Power System .....	6
2.2.1 Types of Distribution System .....	9
2.2.2 Distributed Generation .....	10
2.3 Short Circuit Faults .....	11
2.3.1 Single Line to Ground Fault .....	11
2.3.2 Phase to Phase Fault .....	13
2.3.3 Double Line to Ground Fault .....	14
2.3.4 Three Phase Fault .....	15
2.4 Fault Location Estimation .....	15
CHAPTER III SYSTEM MODELLING .....	17
3.1 SYSTEM MODELLING .....	17
3.2 Fault Location Estimation Algorithm .....	17
3.3.1 Single Line to Ground Fault .....	19
3.3.2 Double Line to Ground Fault .....	20
3.3.3 Phase to Phase Fault .....	21
3.3 Electricity System .....	23
CHAPTER IV SIMULATION and ANALYZE .....	29

4.1 Fault Simulation in Feeder .....	29
4.2 Fault Location Estimation Calculation.....	36
4.3 Fault Location Estimation Calculation in Case 1.....	37
4.4 Fault Location Estimation Calculation in Case 2.....	39
4.5 Fault Location Estimation Calculation in Case 3.....	41
CHAPTER V CLOSING.....	45
5.1 Conclusion .....	45
5.2 Suggestion.....	45
BIBLIOGRAPHY .....	47
AUTHOR BIODATA .....	49

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Jaringan Distribusi Radial.....	8
<b>Gambar 2.2</b>	Jaringan Distribusi Lingkaran ( <i>Loop</i> ).....	8
<b>Gambar 2.3</b>	Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah.	11
<b>Gambar 2.4</b>	Hubung Singkat 1 Fasa pada Bus 12 kV Titik Sekunder Trafo.....	12
<b>Gambar 2.5</b>	Gangguan Fasa ke Fasa.....	13
<b>Gambar 2.6</b>	Gangguan 2 Fasa ke Tanah.....	14
<b>Gambar 2.7</b>	Gangguan 3 Fasa ke Tanah.....	15
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alur Simulasi Hubung Singkat dan Penentuan Lokasi Gangguan.....	18
<b>Gambar 3.2</b>	Gangguan 1 Fasa ke Tanah pada Metode.....	19
<b>Gambar 3.3</b>	Gangguan 2 Fasa ke Tanah pada Metode.....	20
<b>Gambar 3.4</b>	Gangguan Fasa ke Fasa pada Metode.....	21
<b>Gambar 3.5</b>	<i>Single Line Diagram</i> Penyulang.....	23

***Halaman ini sengaja dikosongkan***



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b>	Data Impedansi dan Panjang Saluran Penyulang.....	24
<b>Tabel 3.2</b>	Data Beban pada Penyulang.....	24
<b>Tabel 3.3</b>	Data Arus Beban pada Penyulang.....	25
<b>Tabel 3.4</b>	Data Tegangan Bus pada Penyulang.....	26
<b>Tabel 3.5</b>	Data Pembangkit Terdistribusi.....	27
<b>Tabel 4.1</b>	Data Gardu Induk Penyulang.....	29
<b>Tabel 4.2</b>	Arus Fasa A pada Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah.....	30
<b>Tabel 4.3</b>	Arus Fasa B Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah	30
<b>Tabel 4.4</b>	Arus Fasa C Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah	31
<b>Tabel 4.5</b>	Arus pada Fasa B Hubung Singkat Fasa ke Fasa.....	31
<b>Tabel 4.6</b>	Arus pada Fasa C Hubung Singkat Fasa ke Fasa.....	32
<b>Tabel 4.7</b>	Tegangan Fasa A di Gardu Induk Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah.....	33
<b>Tabel 4.8</b>	Tegangan Fasa B di Gardu Induk Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah.....	33
<b>Tabel 4.9</b>	Tegangan Fasa C di Gardu Induk Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah.....	34
<b>Tabel 4.10</b>	Tegangan Fasa B di Gardu Induk Hubung Singkat Fasa ke Fasa.....	35
<b>Tabel 4.11</b>	Tegangan Fasa C Terukur Hubung Singkat Fasa ke Fasa.....	35
<b>Tabel 4.12</b>	Hasil Metode Impedansi pada Gangguan 1 Fasa ke Tanah.....	38
<b>Tabel 4.13</b>	Hasil Metode Impedansi pada Gangguan 2 Fasa ke Tanah.....	41
<b>Tabel 4.14</b>	Hasil Metode Impedansi pada Gangguan Fasa ke Fasa.....	43

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Sistem tenaga listrik tidak akan terlepas dari adanya gangguan. Gangguan yang terjadi tersebut akan membuat area tersebut terganggu atau bahkan dapat membuat sistem-sistem yang terhubung lainnya menjadi terganggu. Hal tersebut akan menimbulkan kerusakan yang sementara atau permanen. Jaringan distribusi mempunyai jarak yang panjang, sehingga ketika terjadi gangguan pada jaringan distribusi, akan susah untuk menentukan dimana lokasi gangguan tersebut berada. Hal ini seringkali menyulitkan teknisi untuk memperbaiki sistem secara cepat. Jika gangguan tersebut dibiarkan terus-menerus, maka akan menimbulkan kerugian yang besar, bagi konsumen dan produsen listrik. Nilai SAIDI (The System Average Interruption Duration Index) yang besar membuat pihak produsen membutuhkan sebuah metode untuk melakukan estimasi lokasi gangguan yang akurat, sehingga dapat menurunkan nilai SAIDI tersebut.

### **1.2 Permasalahan**

Menentukan lokasi gangguan pada jaringan distribusi aktif yang tidak seimbang

### **1.3 Tujuan**

Hasil dari tugas akhir ini adalah suatu algoritma yang memungkinkan untuk menentukan lokasi gangguan yang terjadi pada jaringan sistem distribusi aktif tidak seimbang sehingga dapat mempercepat penanganan gangguan bila gangguan tersebut terjadi.

### **1.4 Batasan Masalah**

Ada beberapa batasan masalah yang diperlukan dalam tugas akhir ini, antara lain:

1. Jaringan distribusi radial aktif 3 fasa tidak seimbang
2. Gangguan yang dianalisa adalah gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, fasa ke fasa, dan 2 fasa ke tanah
3. Ketidakseimbangan sistem diakibatkan oleh ketidakseimbangan beban

4. Kapasitas pembangkit terdistribusi lebih kecil daripada kapasitas *grid*
5. Perhitungan arus hubung singkat menggunakan perhitungan untuk sistem distribusi radial aktif 3 fasa tidak seimbang
6. Beban yang digunakan adalah beban statis

## 1.5 Metodologi

### 1. Studi Literatur

Metode ini dilakukan untuk mendasarkan penelitian pada bahan-bahan literatur dan jurnal-jurnal penelitian yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan gangguan hubung singkat, dan estimasi lokasi gangguan pada jaringan distribusi, khususnya pada pembangkit terdistribusi pada *software* MATLAB.

### 2. Pemodelan Jaringan dan Pembuatan Program

Metode ini dilakukan dengan melakukan pengumpulan data-data yang dibutuhkan dalam memodelkan jaringan, seperti data beban, *single line diagram*, dan impedansi. Lalu data tersebut akan dimodelkan dengan *software* ETAP. Dengan *software* MATLAB, dilakukan pembuatan program yang akan digunakan dalam menentukan estimasi lokasi gangguan yang terjadi.

### 3. Simulasi Sistem dan Simulasi Gangguan

Pada metode ini, akan dilakukan simulasi sistem dengan menggunakan *software* MATLAB untuk melihat hasil yang terjadi saat kondisi aktual gangguan hubung singkat yang terjadi pada jarak yang seharusnya. Dari hasil tersebut akan diperoleh data-data yang akan digunakan dalam analisis data. Dengan *software* MATLAB, akan dilakukan pengaplikasian dari program yang sudah dibuat untuk memperlihatkan estimasi jarak gangguan yang terjadi dengan menggunakan data-data hubung singkat yang sudah didapatkan pada jaringan tersebut.

### 4. Analisis Data

Pada tahap ini, dilakukan analisis terhadap program yang sudah dibuat berdasarkan hasil simulasi. Jika ditemukan kesalahan atau ketidaksesuaian dengan hasil yang seharusnya, maka

diadakan perbaikan terhadap algoritma hingga hasil simulasi menunjukkan program telah bekerja menghasilkan nilai yang sesuai. Setelah itu, dilakukan analisis terhadap data yang sudah diperoleh dengan data hasil simulasi aktual.

5. Kesimpulan

Pada tahap ini, percobaan telah selesai dan kesimpulan dapat disusun berdasarkan berbagai data yang diperoleh dalam simulasi.

6. Penyusunan Buku Tugas Akhir (TA)

Pada tahapan ini penulis menyusun laporan tugas akhir berdasarkan proses yang telah dilakukan dan hasil yang diperoleh dari simulasi sesuai dengan kaidah penulisan Tugas Akhir.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Pada tugas akhir ini, akan dijelaskan beberapa hal yang akan menunjang metode yang diteliti. Pada BAB I, dijelaskan mengenai latar belakang, tujuan, manfaat, batasan masalah, permasalahan, dan metodologi. Pada BAB II, akan dijelaskan secara umum tentang sistem distribusi tenaga listrik. Hal tersebut mencakup beberapa hal seperti sistem tenaga listrik, sistem distribusi, gangguan hubung singkat, dan lokasi gangguan. Pada BAB III akan dijelaskan mengenai pemodelan sistem yang akan digunakan dalam aplikasi metode, seperti *software* yang digunakan, data-data penyulang, dan algoritma metode yang akan digunakan. Pada BAB IV, akan dijelaskan hasil dari simulasi gangguan yang terjadi, meliputi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, dan fasa ke fasa. Setelah diperoleh hasil simulasi tersebut, maka dapat diperoleh hasil analisis. Hasil analisis tersebut akan menjadi acuan dalam membuat kesimpulan pada BAB V. Kekurangan yang terdapat pada Tugas Akhir ini akan dimasukkan pada BAB V bagian saran.

## 1.7 Relevansi

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Menjadi referensi untuk pengembangan sistem distribusi.

2. Menjadi referensi bagi mahasiswa yang melakukan penelitian yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan penulis.

## **BAB II**

### **SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK**

#### **2.1 Sistem Tenaga Listrik**

Umumnya, masalah yang terjadi pada penyaluran listrik ke pelanggan adalah beban atau konsumen tersebar, sedangkan pembangkit listrik harus berada di wilayah atau tempat tertentu saja. Hal tersebut membuat proses penyaluran listrik memerlukan pendistribusian secara bertahap sebelum sampai kepada konsumen.

Penyaluran listrik umumnya terdiri atas 3 tahap:

- a. Pembangkit
- b. Saluran Transmisi
- c. Saluran Distribusi

Pembangkit tenaga listrik seperti PLTU, PLTA, PLTG, PLTD, dan PLTP menyalurkan listrik yang dibangkitkan menuju saluran transmisi dengan cara menaikkan tegangannya dengan menggunakan transformator *step up* dengan tujuan untuk mengurangi rugi-rugi daya saat tersalurkan di saluran transmisi. Umumnya, saluran transmisi tegangan tinggi mempunyai tegangan 66kV, 150kV, dan 500 kV (sekarang disebut tegangan ekstra tinggi). Saluran transmisi dapat berupa saluran udara ataupun kabel tanah, tergantung dari keperluan penyaluran listrik. PLN umumnya menggunakan saluran udara dalam menyalurkan listriknya karena biaya yang digunakan lebih murah dibandingkan kabel tanah, meski relatif merugikan karena beresiko mengalami gangguan-gangguan eksternal, seperti petir, bersentuhan dengan pohon, dan lainnya.

Setelah melalui saluran transmisi, listrik dialirkan ke gardu induk untuk diturunkan tegangannya dengan menggunakan transformator *step down*. Penurunan tegangan ini dilakukan untuk mengubah tegangan tinggi menjadi tegangan menengah atau bisa disebut tegangan distribusi primer. Umumnya, saluran distribusi primer mempunyai tegangan 20 kV, 12 kV, dan 6 kV.

Setelah listrik keluar dari gardu induk, listrik akan disalurkan melalui jaringan distribusi. Pada tegangan menengah tersebut, listrik sudah bisa dialirkan langsung menuju konsumen yang umumnya pabrik-pabrik, dimana mereka memerlukan tegangan yang lebih tinggi dari perumahan dalam menjalankan operasional pabrik. Meskipun begitu, terkadang ada konsumen yang menggunakan tegangan tinggi untuk

kebutuhannya, tergantung pada jumlah daya yang digunakan oleh konsumen. Dari tegangan distribusi primer, kemudian tegangan listrik diturunkan lagi menjadi 380/220 Volt, yang disalurkan melalui jaringan distribusi rendah menuju rumah-rumah pelanggan atau konsumen melalui sambungan rumah.

Dalam memenuhi kebutuhan listrik konsumen, maka diperlukan sejumlah peralatan yang tersambung satu sama lain yang secara keseluruhan disebut sistem tenaga listrik. Sistem tenaga listrik ini didefinisikan sebagai sekumpulan Pusat Listrik dan Gardu Induk yang terhubung satu sama lain melalui jaringan transmisi, sehingga membentuk sebuah kesatuan interkoneksi. [1]

## 2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Pada dasarnya, jaringan distribusi mempunyai berbagai jenis konfigurasi dan panjang jaringannya. *Feeder* adalah salah satu bagian dari rangkaian distribusi yang berada di luar *substation*. *Feeder* merupakan inti dari jaringan distribusi yang berbentuk 3 fasa. Ini umumnya konduktor besar seperti konduktor aluminium dengan ukuran 500-750 kcmil. Pada jaringan ini, memiliki banyak percabangan yang bisa mengalirkan 1 fasa, 2 fasa, atau 3 fasa aliran listrik. Tiap cabang ini biasanya mempunyai pemutus yang memisahkan antara cabang dengan jaringan utama (*feeder*) jika terjadi gangguan-gangguan.

Jaringan distribusi primer umumnya mempunyai 4 kabel yang terdiri atas konduktor 3 fasa dan multi pentanahan. Beban 1 fasa difungsikan oleh transformator yang terhubung antara 1 fasa dengan netral. Saluran 1 fasa mempunyai 1 konduktor fasa dan netral, dan saluran 2 fasa mempunyai 2 konduktor fasa dan netral. Beberapa jaringan distribusi primer terkadang hanya mempunyai 3 sistem kabel (tanpa menggunakan kabel netral). Pada jaringan distribusi ini, beban 1 fasa dihubungkan antar fasa, dan salurannya mempunyai 2 dari 3 fasa yang digunakan.

Jaringan distribusi umumnya mempunyai beberapa jenis konfigurasi. Dari beberapa konfigurasi tersebut, konfigurasi yang paling banyak digunakan adalah konfigurasi radial (baik primer maupun sekunder). Hal ini dikarenakan konfigurasi radial mempunyai banyak keuntungan, antara lain:

- a. Lebih mudah mengamankan arus gangguan
- b. Arus gangguan yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan sistem lainnya

- c. Lebih mudah mengontrol tegangan
- d. Lebih mudah memperkirakan dan mengendalikan aliran daya
- e. Biaya lebih murah

Sistem distribusi primer mempunyai banyak bentuk dan ukuran tergantung pada pola jalan, bentuk dari wilayahnya, penghambat (seperti danau), dan letak beban-beban besar berada. *Feeder* distribusi radial mempunyai percabangan yang panjang, yang berfungsi untuk mencapai beban-beban yang ada.[2]

Sistem distribusi terdiri atas jaringan tegangan menengah dan jaringan tegangan rendah, yang umumnya dioperasikan secara radial. Salah satu masalah dalam sistem distribusi adalah pada bidang pengoperasian, dimana jumlah gangguan yang terjadi pada sistem tersebut relatif banyak dibandingkan dengan sistem yang lain. Dengan jumlah beban yang banyak dan relatif tersebar, hal tersebut menjadi salah satu hal yang perlu diperhatikan. Selain hal tersebut, perubahan nilai tegangan, peralatan yang mengalami pembebanan berlebih dan rugi-rugi daya juga merupakan hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pengoperasian sistem distribusi. [1]

Di dalam implementasi sistem distribusi, ada beberapa jenis konfigurasi yang digunakan dalam menyalurkan daya listrik menuju konsumen. Jenis-jenis konfigurasi yang biasanya digunakan dalam jaringan distribusi, antara lain:

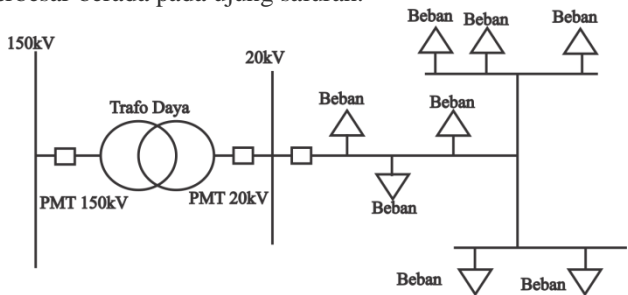
### 1. Konfigurasi Radial

Sistem distribusi dengan konfigurasi Radial seperti Gambar 2.1 di bawah ini merupakan sistem distribusi yang paling sederhana dan ekonomis. Oleh sebab itu, sebagian besar konfigurasi yang digunakan pada jaringan distribusi adalah konfigurasi radial. Pada sistem ini, terdapat beberapa penyulang yang memberikan suplai listrik ke beberapa gardu distribusi secara radial. Pada penyulang tersebut, digunakan beberapa gardu distribusi untuk pihak konsumen. Gardu distribusi merupakan tempat untuk memasang transformator yang akan digunakan untuk konsumen.

Kekurangan dari konfigurasi ini adalah kurangnya keandalan pada sistem dibandingkan dengan konfigurasi lainnya. Hal ini disebabkan oleh peran utama penyaluran daya listrik yang hanya menggunakan satu jalur utama yang menuju gardu distribusi. Jika jalur tersebut mengalami gangguan, maka seluruh gardu distribusi akan mengalami kepadaman. Kekurangan lainnya dari konfigurasi ini adalah kualitas tegangan yang



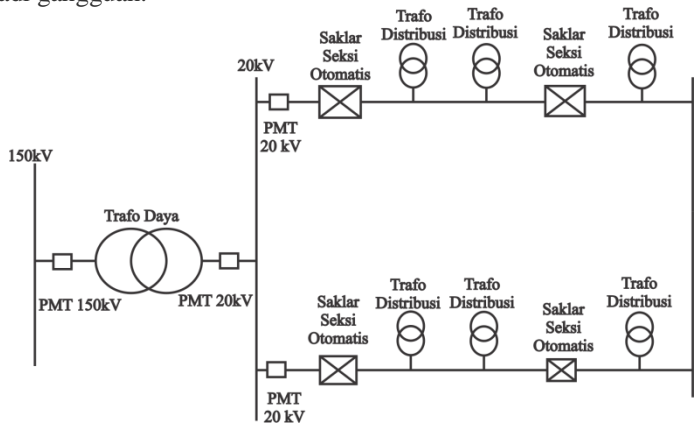
terletak paling ujung menjadi kurang baik karena nilai jatuh tegangan yang terbesar berada pada ujung saluran.



**Gambar 2.1** Jaringan Distribusi Radial

2. Konfigurasi Lingkaran (*Loop*)

Konfigurasi ini mempunyai penyulang yang terhubung membentuk sebuah *loop* atau rangkaian tertutup, dengan tujuan untuk memberikan suplai daya listrik ke gardu distribusi. Konfigurasi ini dapat disebut sebagai gabungan dari dua konfigurasi radial. Dengan gabungan dari dua konfigurasi radial, maka kelebihan yang diperoleh pada konfigurasi ini adalah diperoleh nilai keandalan yang baik, jika salah satu saluran terjadi gangguan.



**Gambar 2.2** Jaringan Distribusi Lingkaran (*Loop*)

## **2.2.1 Jenis Saluran Distribusi**

### **2.2.1.1 Saluran Udara**

Pada umumnya, dengan kondisi sistem 3 fasa, struktur yang biasa digunakan adalah bentuk horizontal dengan tinggi 8 atau 10 kaki. Pada sistem distribusi, terdapat kawat netral yang digunakan sebagai pengaman pada peralatan, atau menyediakan jalur kembali pada beban tidak seimbang dan saat terjadi kondisi gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah. Pada saluran ini, terdapat kawat untuk masing-masing fasa yang diberi jarak pada tiap fasanya, termasuk kawat netral. Saluran ini diletakan di luar bangunan. Umumnya, saluran ini digunakan pada wilayah-wilayah seperti pinggiran kota, pedesaan, atau wilayah yang letak bebannya jauh dan tersebar. Dalam segi biaya, saluran ini jauh lebih murah dibandingkan saluran bawah tanah.

Kelebihan dari saluran ini, antara lain:

- a. Biaya yang diperlukan lebih murah
- b. Lebih mudah digunakan pada daerah-daerah yang lahannya berbatu
- c. Lebih mudah dalam perawatan dan menemukan lokasi gangguan

Kekurangan dari saluran ini, antara lain:

- a. Mudah terjadi gangguan, terutama dari faktor-faktor eksternal
- b. Kurangnya nilai estetika

### **2.2.1.2 Saluran Bawah Tanah**

Saluran bawah tanah ini diletakan di bawah tanah dengan kedalaman tertentu dengan tujuan untuk tidak mengganggu penggalian tanah jika dekat dengan permukaan tanah. Terdapat beberapa lapisan yang digunakan untuk melindungi kabel bawah tanah agar aman. Kabel ini umumnya berbahan aluminium atau tembaga, dengan bahan isolasi berupa kertas dan timah untuk mekanisnya.

Gangguan pada kabel bawah tanah umumnya bersifat permanen karena tidak menggunakan recloser (penutup balik otomatis). Gangguan tersebut akan lebih lama dilacak dan lebih lama diperbaiki, dibandingkan dengan gangguan di saluran udara (berkisar 1 sampai 5 hari). Penyebab gangguan yang terjadi pada saluran kabel, umumnya disebabkan oleh [1]:

- a. Terkena cangkul atau alat gali
- b. Terdesak oleh akar pohon

- c. Pergerakan tanah, misalnya seperti ketidakstabilan tanah atau tekanan mekanis
- d. Pemasangan yang kurang hati-hati sehingga terdapat bagian kabel yang mengalami keretakan atau kemasukan air
- e. Penyambungan kabel yang kurang sempurna yang mengakibatkan kontak lepas atau kendur

### 2.2.2 Pembangkit Terdistribusi

Pembangkit terdistribusi merupakan salah satu solusi dalam mendistribusikan listrik dengan menggunakan energi terbarukan. Hal ini dikarenakan jumlah energi fosil perlahan-lahan akan habis. Energi-energi yang dapat digunakan sebagai pembangkit terdistribusi seperti gas alam, tenaga angin, *fuel cell*, panas matahari, dan mikro turbin. Jaringan distribusi listrik menjadi aktif dengan integrasi pembangkit terdistribusi, yang oleh sebab itu, dinamakan sistem distribusi aktif.

Pada dasarnya, ada beberapa hal yang mendefinisikan pembangkit terdistribusi:

1. Pembangkit terdistribusi
2. Lebih rendah dari 50 MW
3. Sumber daya atau generatornya biasanya terhubung dengan sistem distribusi, yang tegangannya antara 220/380 V hingga 150 kV.

Selain pertimbangan akan jumlah energi fosil yang perlahan akan habis, masih ada hal-hal lain yang dijadikan pertimbangan untuk memasang pembangkit terdistribusi pada sistem kelistrikan:

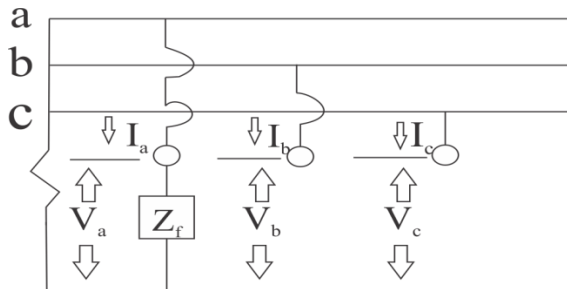
1. Kecepatan pertumbuhan jumlah beban. Dalam sistem distribusi listrik suatu negara yang pertumbuhan penduduknya cukup pesat, dapat mengakibatkan konsumsi listrik pada negara tersebut menjadi besar.
2. Pembangkit terdistribusi meningkatkan efisiensi pada pembangkitan listrik sistem

Sistem distribusi aktif merupakan salah satu solusi yang kini sudah mulai diaplikasikan pada jaringan sistem distribusi. Sistem distribusi aktif merupakan hasil integrasi antara sistem distribusi konvensional dengan pembangkit terdistribusi. Hal ini membuat aliran listrik tidak hanya 1 arah, melainkan bisa 2 arah atau lebih. Jaringan distribusi aktif memerlukan *intelligent control* pada sistem distribusi secara keseluruhan. [3]

## 2.3 Gangguan Hubung Singkat

### 2.3.1 Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah merupakan gangguan hubung singkat yang sering terjadi karena gangguan ini timbul oleh salah satu penghantar fasa yang bersentuhan dengan tanah. [4] Gangguan ini termasuk dalam gangguan hubung singkat tidak simetris (asimetri) yang terlihat pada Gambar 2.3. Gangguan hubung singkat ini umumnya bersifat sementara. Gangguan ini umumnya diakibatkan terjadinya sentuhan antara penghantar fasa dengan ranting pohon ataupun elemen lain yang bersentuhan dengan tanah. Persentase gangguan ini terjadi adalah sekitar 70%.



**Gambar 2.3** Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Persamaan arus yang didapatkan dari rangkaian tersebut:

$$V_a = I_a \times Z_f; I_b = 0; I_c = 0 \quad (1)$$

Dengan persamaan (1), maka diperoleh nilai arus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} I_{a0} &= \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) = \frac{1}{3} I_a \\ I_{a1} &= \frac{1}{3} (I_a + aI_b + a^2I_c) = \frac{1}{3} I_a \\ I_{a2} &= \frac{1}{3} (I_a + a^2I_b + aI_c) = \frac{1}{3} I_a \end{aligned}$$

Sehingga,  $I_{a0} = I_{a1} = I_{a2} = \frac{1}{3} I_a$  (2)

Pada persamaan (2), membuktikan bahwa nilai arus pada tiap urutan, bernilai sama. Nilai tegangan tiap urutan:

$$V_{a0} = - I_{a0} \times Z_0$$

$$V_{a1} = V_f - I_{a1} \cdot Z_1$$

$$\begin{aligned} V_{a2} &= -I_{a2} \cdot Z_2 \\ V_a &= V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} \end{aligned} \quad (3)$$

Dari persamaan (2) dan (3), maka akan diperoleh persamaan tegangan sebagai berikut:

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0} = (I_{a1} + I_{a2} + I_{a0}) \cdot Z_f = 3 \cdot I_a \cdot Z_f \quad (4)$$

$$V_a = V_f - I_{a1} \cdot Z_1 - I_{a2} \cdot Z_2 - I_{a0} \cdot Z_0$$

$$V_a = V_f - I_{a1} \cdot (Z_1 + Z_2 + Z_0) \quad (5)$$

Dari persamaan (5), diperoleh persamaan:

$$V_f - I_{a1} \cdot (Z_1 + Z_2 + Z_0) = 3 \cdot I_{a1} \cdot Z_f \quad (6)$$

$$V_f = I_{a1} \cdot (Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3 \cdot Z_f)$$

$$I_{a1} = \frac{1}{3} I_a = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f}$$

$$I_{a1} = I_f = \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f}$$

Bila nilai  $Z_f$  diabaikan, maka persamaan yang terbentuk adalah:

$$I_f = \frac{3V_{L-N}}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad (7)$$

Keterangan:

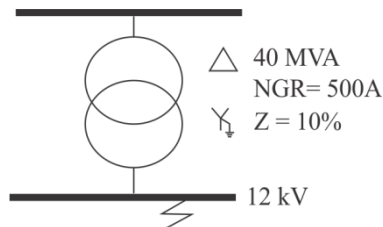
$V_{L-N}$  adalah tegangan yang muncul sesaat sebelum gangguan terjadi.

$Z_1$  adalah impedansi urutan positif yang dilihat dari titik gangguan.

$Z_2$  adalah impedansi urutan negatif yang dilihat dari titik gangguan.

$Z_0$  adalah impedansi urutan nol yang dilihat dari titik gangguan.

Di bawah ini, terdapat contoh soal hubungan hubung singkat dengan sebuah transformator yang berspesifikasi seperti Gambar 2.4 berikut.



**Gambar 2.4** Hubung Singkat 1 Fasa pada Bus 12 kV Titik Sekunder Trafo

$$Z_1 = \frac{kV^2}{MVA} * Z = \frac{12^2}{40} * 10\% = 0,36\Omega$$

$$Z_f = \frac{V_{L-N}}{NGR} = \frac{(12/\sqrt{3})kV}{0,5 \text{ kA}} = 13,86 \Omega$$

$$I_{sc1\phi} = \frac{3 V_{L-N}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f} = \frac{3 * (12000/\sqrt{3})}{0,36 + 0,36 + 0,36 + 3 * (13,86)} = 487,22 \text{ A}$$

### 2.3.2 Gangguan Hubung Singkat Fasa ke Fasa

Gangguan hubung singkat fasa ke fasa adalah gangguan hubung singkat yang terjadi bila terjadinya sentuhan antara salah satu penghantar fasa dengan penghantar fasa yang lainnya. Gangguan ini termasuk gangguan hubung singkat tidak simetris (asimetri), seperti yang terlihat pada Gambar 2.5. Persentase terjadinya gangguan ini adalah 15%.

Pada gambar tersebut, dapat diperoleh persamaan:

$$I_{a0} = \frac{1}{3} (0 - I_b + I_c) = 0$$

$$I_{a1} = \frac{1}{3} (0 + aI_b - a^2 I_c) = \frac{1}{3} (a - a^2) * I_b$$

$$I_{a2} = \frac{1}{3} (0 + a^2 I_b - aI_c) = \frac{1}{3} (a^2 - a) * I_b$$

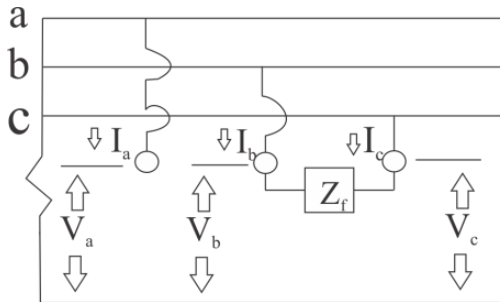
Dari ketiga persamaan tersebut, maka diperoleh persamaan-persamaan lain sebagai berikut:

$$I_{a1} = -I_{a2}$$

$$V_b - V_c = Z_f * I_b$$

$$V_b - V_c = (a^2 - a) * (V_{a1} - V_{a2})$$

$$(a^2 - a) * [V_f - (Z_1 + Z_2) * I_{a1}] = Z_f * I_b$$



**Gambar 2.5** Gangguan Fasa ke Fasa

Dengan melakukan substitusi  $I_b$ , maka akan diperoleh persamaan  $(a - a^2) \cdot (a^2 - a) = 3$ , sehingga akan diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$V_f - (Z_1 + Z_2) \cdot I_{a1} = \frac{3I_{a1}^2}{(a - a^2)(a^2 - a)}$$

Jika  $Z_f$  adalah  $(a - a^2) \cdot (a^2 - a)$ , maka nilai arus hubung singkat yang diperoleh:

$$I_{fL-L} = \frac{V_{L-N} \cdot \sqrt{3}}{Z_1 + Z_2} \quad (8)$$

Keterangan:

$V_{L-N}$  adalah tegangan sebelum gangguan pada titik gangguan

$Z_1$  adalah impedansi urutan nol yang dilihat dari titik gangguan

$Z_2$  adalah impedansi urutan negatif yang dilihat dari titik gangguan

### 2.3.3 Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah

Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah adalah gangguan hubung singkat yang terjadi bila dua fasa penghantar terhubung dengan tanah. Gangguan ini termasuk gangguan hubung singkat tidak simetris (asimetri). Persentase terjadinya gangguan ini adalah 10%.

Jumlah arus hubung singkat yang terjadi, dapat dihitung dengan persamaan:

$$I = \frac{V_f}{\frac{Z_1 + Z_2 Z_0}{Z_2 + Z_0}} \quad (9)$$

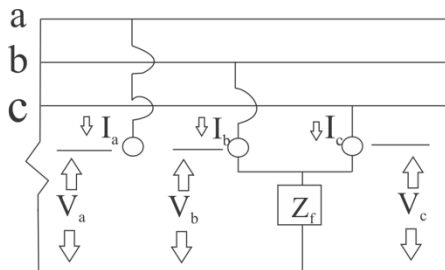
Keterangan:

$V_f$  adalah tegangan yang muncul sesaat sebelum gangguan terjadi

$Z_1$  adalah impedansi urutan positif yang dilihat dari titik gangguan

$Z_2$  adalah impedansi urutan negatif yang dilihat dari titik gangguan

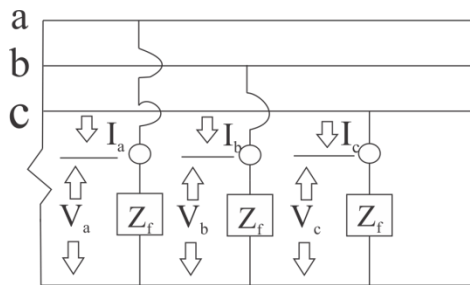
$Z_0$  adalah impedansi urutan nol yang dilihat dari titik gangguan



**Gambar 2.6** Gangguan 2 Fasa ke Tanah

### 2.3.4 Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa ke Tanah

Gangguan hubung singkat tiga fasa ke tanah merupakan gangguan hubung singkat yang terjadi karena terjadinya sentuhan diantara ketiga penghantar fasa. Gangguan ini umumnya disebabkan oleh pohon yang bersentuhan dengan seluruh penghantar tersebut. Gangguan ini termasuk gangguan hubung singkat simetris. Persentase untuk terjadi gangguan ini adalah sekitar 5%. Gangguan hubung singkat tiga fasa dapat dilihat pada gambar 2.7 di bawah ini.



**Gambar 2.7** Gangguan 3 Fasa ke Tanah

Gangguan hubung singkat 3 fasa merupakan gangguan yang simetris, sehingga nilai dari urutan negatif dan urutan nol tidak ada. Oleh sebab itu, diperoleh persamaan:

$$\begin{aligned} V_a &= V_f - I_{a1} \cdot Z_{f1} = 0 \\ I_{a1} &= I_f = \frac{V_f}{Z_1} \\ I_{f3\phi} &= \frac{V_{L-N}}{Z_1} \end{aligned} \quad (10)$$

Keterangan:

- $V_{L-N}$  adalah tegangan di titik gangguan sebelum gangguan tersebut terjadi
- $Z_1$  adalah impedansi urutan positif yang dilihat dari titik gangguan

### 2.4 Penentuan Lokasi Gangguan

Penentuan lokasi gangguan (*Fault Location*) merupakan proses yang bertujuan untuk menentukan lokasi gangguan yang terjadi dengan akurasi yang tinggi. Alat untuk menentukan lokasi gangguan biasanya



membantu pekerjaan dari alat proteksi, yang menggunakan algoritma *fault location* untuk menentukan estimasi jarak gangguan. [1]

Jaringan transmisi maupun distribusi mengalami gangguan sementara atau gangguan permanen. Gangguan sementara, yang sebagian besar dialami pada saluran udara, pada akhirnya akan kembali normal dengan sendirinya. Konsekuensinya, kontinuitas sumber listrik tidak terganggu secara permanen. Jika terjadi gangguan permanen, maka rele proteksi yang terhubung akan bekerja untuk membuat pemutus daya berfungsi sehingga gangguan di wilayah tersebut dapat diamankan.

*Fault locator* digunakan untuk menentukan posisi gangguan secara tepat. *Fault locator* dan rele proteksi saling berhubungan, meskipun keduanya mempunyai perbedaan yang terlihat. Perbedaan tersebut menjadi pertimbangan diantara kedua hal tersebut, antara lain:

- a. Akurasi dari lokasi gangguan
- b. Kecepatan dalam menentukan posisi gangguan
- c. Kecepatan dalam mengirimkan data pada *remote site*
- d. Penggunaan jendela data
- e. Penyaringan digital sinyal masukan dan kompleksitas perhitungan

## BAB III

### PEMODELAN SISTEM

#### 3.1 Pemodelan Sistem

Pada Tugas Akhir ini, konfigurasi sistem yang akan digunakan adalah konfigurasi radial. Selain itu, sistem yang digunakan adalah sistem yang tidak seimbang, dimana beban antar fasanya tidak sama. Untuk memperoleh hasil hubung singkat, diperlukan data-data arus, tegangan, dan impedansi pada saat sebelum gangguan dan saat gangguan terjadi. Data-data tersebut diperoleh dari hasil simulasi penyulang yang digunakan pada software MATLAB. Untuk langkah secara sistematis dari pengambilan data hingga pencarian lokasi gangguan, dapat dijelaskan pada diagram alur pada Gambar 3.1.

#### 3.2 Algoritma Penentuan Lokasi Gangguan

Secara garis besar, untuk menentukan lokasi gangguan dengan metode impedansi, diperlukan data-data saat terjadi gangguan hubung singkat. Data-data yang diperlukan adalah arus gangguan per fasa, tegangan fasa saat di gardu induk, dan nilai impedansi fasa saluran. Data arus beban juga diperlukan, dengan dihitung sesuai rumus yang ada berdasarkan arus beban sebelum gangguan, tegangan sebelum gangguan, dan tegangan setelah gangguan. Prinsip ini mengacu pada rumus  $V = I \times R$ , dimana  $I$  adalah arus hubung singkat yang terjadi,  $V$  tegangan pada gardu induk, dan  $R$  adalah impedansi saluran. Hal ini akan memperoleh nilai jarak lokasi gangguan.

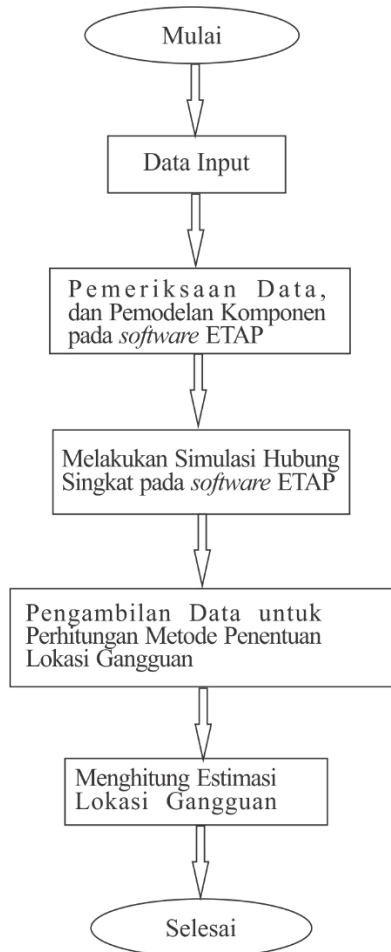
Dalam menentukan lokasi gangguan, perlu ditentukan nilai dari  $I_{La}$  (arus menuju beban pada fasa ke- $a$  sebelum terjadi gangguan). Setelah memperoleh arus tersebut, arus ini akan dijadikan sebagai arus saat gangguan. [5, 6] Dalam menentukan nilai awal dari arus gangguan pada fasa  $a$ , maka dapat diperoleh menggunakan nilai dari arus sebelum gangguan, yaitu:

$$I_{Fa} = I_{Sa} - I_{La} \quad (1)$$

$$I_{La} = I_{La_{pre-fault}} \times \frac{V_{fault}}{V_{pre-fault}} \quad (2)$$

Pada sistem distribusi aktif, terdapat arus kontribusi dari pembangkit terdistribusi. Namun, karena kapasitas pembangkit terdistribusi bernilai kecil dibandingkan kapasitas *grid*, maka nilai arus kontribusi dapat diabaikan.

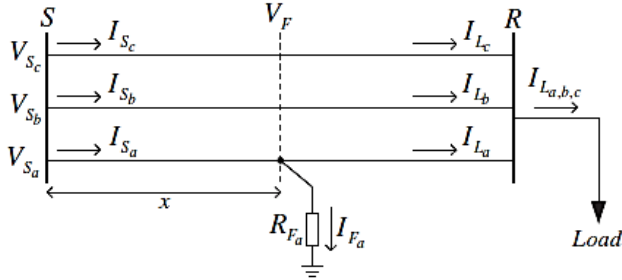
Untuk memperoleh letak lokasi gangguan, maka diperlukan persamaan yang berbeda-beda menurut gangguan hubung singkat yang terjadi.



**Gambar 3.1** Diagram Alur Simulasi Hubung Singkat dan Penentuan Lokasi Gangguan

### 3.3.1 Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

$$x = \frac{V_{s_{a_r}} \cdot I_{F_{a_i}} - V_{s_{a_i}} \cdot I_{F_{a_r}}}{M \cdot I_{F_{a_i}} - N \cdot I_{F_{a_r}}}$$



**Gambar 3.2** Gangguan 1 Fasa ke Tanah pada Metode

Keterangan pada Gambar 3.2:

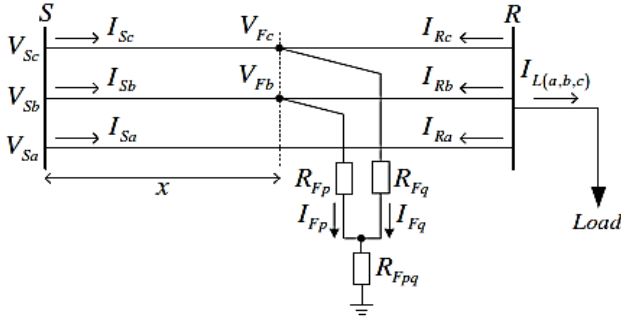
- $x$  adalah rasio jarak saluran dengan interval 0-1
- $V_{s_{a_r}}$  adalah tegangan pada bus sumber fasa  $a$  dalam bentuk *real*
- $V_{s_{a_i}}$  adalah tegangan pada bus sumber fasa  $a$  dalam bentuk *imaginer*
- $I_{F_{a_r}}$  adalah arus saat terjadinya gangguan pada fasa  $a$  dalam bentuk *real*
- $I_{F_{a_i}}$  adalah arus saat terjadinya gangguan pada fasa  $a$  dalam bentuk *imaginer*
- $M = \sum_{k=\{a, b, c\}} [Z_{a_{k_r}} \cdot I_{s_{k_r}} - Z_{a_{k_i}} \cdot I_{s_{k_i}}]$
- $N = \sum_{k=\{a, b, c\}} [Z_{a_{k_r}} \cdot I_{s_{k_i}} + Z_{a_{k_i}} \cdot I_{s_{k_r}}]$
- $Z_{a_{k_r}}$  adalah impedansi saluran fasa dalam bentuk *real*
- $Z_{a_{k_i}}$  adalah impedansi saluran fasa dalam bentuk *imaginer*
- $I_{s_{k_r}}$  adalah arus gangguan yang menuju fasa  $k$  dengan  $k$  adalah fasa  $a$ ,  $b$ , dan  $c$  dalam bentuk *real*
- $I_{s_{k_i}}$  adalah arus gangguan yang menuju fasa  $k$  dengan  $k$  adalah fasa  $a$ ,  $b$ , dan  $c$  dalam bentuk *imaginer*

### 3.3.2 Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah

$$M = \sum_{k=\{a, b, c\}} [Z_{p_{kr}} \cdot I_{s_{kr}} - Z_{p_{ki}} \cdot I_{s_{ki}}]$$

$$N = \sum_{k=\{a, b, c\}} [Z_{p_{kr}} \cdot I_{s_{ki}} + Z_{p_{ki}} \cdot I_{s_{kr}}]$$

$$\begin{bmatrix} x \\ R_{Fp} \\ R_{Fq} \\ R_{Fpq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_p & I_{Fp_r} & 0 & I_{Fp_r} + I_{Fq_r} \\ M_p & I_{Fp_i} & 0 & I_{Fp_i} + I_{Fq_i} \\ N_q & 0 & I_{Fq_r} & I_{Fp_r} + I_{Fq_r} \\ M_q & 0 & I_{Fq_i} & I_{Fp_i} + I_{Fq_i} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} V_{s_{p_r}} \\ V_{s_{p_i}} \\ V_{s_{q_r}} \\ V_{s_{q_i}} \end{bmatrix}$$



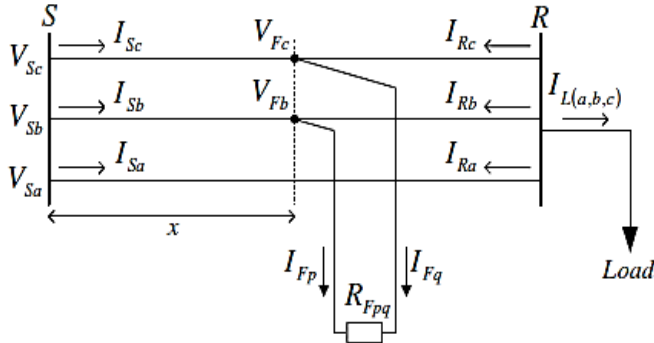
**Gambar 3.3** Gangguan 2 Fasa ke Tanah pada Metode

Keterangan pada Gambar 3.3:

- $x$  adalah rasio jarak saluran dengan interval 0-1
- $V_{s_{p_r}}$  adalah tegangan pada bus sumber fasa  $b$  dalam bentuk *real*
- $V_{s_{p_i}}$  adalah tegangan pada bus sumber fasa  $b$  dalam bentuk *imaginer*
- $V_{s_{q_r}}$  adalah tegangan pada bus sumber fasa  $c$  dalam bentuk *real*
- $V_{s_{q_i}}$  adalah tegangan pada bus sumber fasa  $c$  dalam bentuk *imaginer*
- $I_{Fp_r}$  adalah arus saat terjadinya gangguan pada fasa  $b$  dalam bentuk *real*
- $I_{Fp_i}$  adalah arus saat terjadinya gangguan pada fasa  $b$  dalam bentuk *imaginer*

- $I_{Fq_r}$  adalah arus saat terjadinya gangguan pada fasa  $c$  dalam bentuk *real*
- $I_{Fi_i}$  adalah arus saat terjadinya gangguan pada fasa  $c$  dalam bentuk *imaginer*
- $M = \sum_{k=\{a, b, c\}} [Z_{a_{kr}} \cdot I_{s_{kr}} - Z_{a_{ki}} \cdot I_{s_{ki}}]$
- $N = \sum_{k=\{a, b, c\}} [Z_{a_{kr}} \cdot I_{s_{ki}} + Z_{a_{ki}} \cdot I_{s_{kr}}]$
- $Z_{a_{kr}}$  adalah impedansi saluran fasa dalam bentuk real
- $Z_{a_{ki}}$  adalah impedansi saluran fasa dalam bentuk imaginer
- $I_{s_{kr}}$  adalah arus gangguan yang menuju fasa  $k$  dengan  $k$  adalah fasa  $a$ ,  $b$ , dan  $c$  dalam bentuk *real*
- $I_{s_{ki}}$  adalah arus gangguan yang menuju fasa  $k$  dengan  $k$  adalah fasa  $a$ ,  $b$ , dan  $c$  dalam bentuk *imaginer*

### 3.3.3 Gangguan Hubung Singkat Fasa ke Fasa



**Gambar 3.4** Gangguan Fasa ke Fasa pada Metode

$$x = \frac{(V_{s_{p_r}} - V_{s_{q_r}}) \cdot I_{Fp_i} - (V_{s_{p_i}} - V_{s_{q_i}}) \cdot I_{Fp_r}}{M \cdot I_{Fp_i} - N \cdot I_{Fp_r}}$$

$$M = \sum_{k=\{a, b, c\}} [(Z_{p_{kr}} - Z_{q_{kr}})I_{s_{kr}} - (Z_{p_{ki}} - Z_{q_{ki}})I_{s_{ki}}]$$

$$N = \sum_{k=\{a, b, c\}} [(Z_{p_{k_i}} - Z_{q_{k_i}})I_{s_{k_r}} + (Z_{p_{k_r}} - Z_{q_{k_r}})I_{s_{k_i}}]$$

Keterangan pada Gambar 3.4:

- $x$  adalah rasio jarak saluran dengan interval 0-1
- $V_{s_{p_r}}$  adalah tegangan pada bus sumber fasa  $b$  dalam bentuk *real*
- $V_{s_{p_i}}$  adalah tegangan pada bus sumber fasa  $b$  dalam bentuk *imaginer*
- $V_{s_{q_r}}$  adalah tegangan pada bus sumber fasa  $c$  dalam bentuk *real*
- $V_{s_{q_i}}$  adalah tegangan pada bus sumber fasa  $c$  dalam bentuk *imaginer*
- $I_{F_{p_r}}$  adalah arus saat terjadinya gangguan pada fasa  $b$  dalam bentuk *real*
- $I_{F_{p_i}}$  adalah arus saat terjadinya gangguan pada fasa  $b$  dalam bentuk *imaginer*
- $M = \sum_{k=\{a, b, c\}} [Z_{a_{k_r}} \cdot I_{s_{k_r}} - Z_{a_{k_i}} \cdot I_{s_{k_i}}]$
- $N = \sum_{k=\{a, b, c\}} [Z_{a_{k_r}} \cdot I_{s_{k_i}} + Z_{a_{k_i}} \cdot I_{s_{k_r}}]$
- $Z_{a_{k_r}}$  adalah impedansi saluran fasa dalam bentuk *real*
- $Z_{a_{k_i}}$  adalah impedansi saluran fasa dalam bentuk *imaginer*
- $I_{s_{k_r}}$  adalah arus gangguan yang menuju fasa  $k$  dengan  $k$  adalah fasa  $a$ ,  $b$ , dan  $c$  dalam bentuk *real*
- $I_{s_{k_i}}$  adalah arus gangguan yang menuju fasa  $k$  dengan  $k$  adalah fasa  $a$ ,  $b$ , dan  $c$  dalam bentuk *imaginer*

Setelah memperoleh lokasi gangguan awal, maka akan diperoleh nilai tegangan yang terdapat pada titik gangguan, yaitu:

$$\begin{bmatrix} V_{F_a} \\ V_{F_b} \\ V_{F_c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{S_a} \\ V_{S_b} \\ V_{S_c} \end{bmatrix} - x \cdot \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{S_a} \\ I_{S_b} \\ I_{S_c} \end{bmatrix}$$

Nilai tegangan pada titik gangguan tersebut akan menjadi nilai awal yang akan memperbarui nilai dari arus beban pada fasa yang terganggu ( $I_{L_a}$ ), dengan persamaan:

$$I_{L_a} = [Y_{th_{aa}} \ Y_{th_{ab}} \ Y_{th_{ac}}] \cdot [V_{F_a} \ V_{F_b} \ V_{F_c}]^T$$

Untuk mencari nilai admitansi ( $Y_{th}$ ), dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$Y_{th} = [(1-x) \cdot Z + Z_r]^{-1}$$

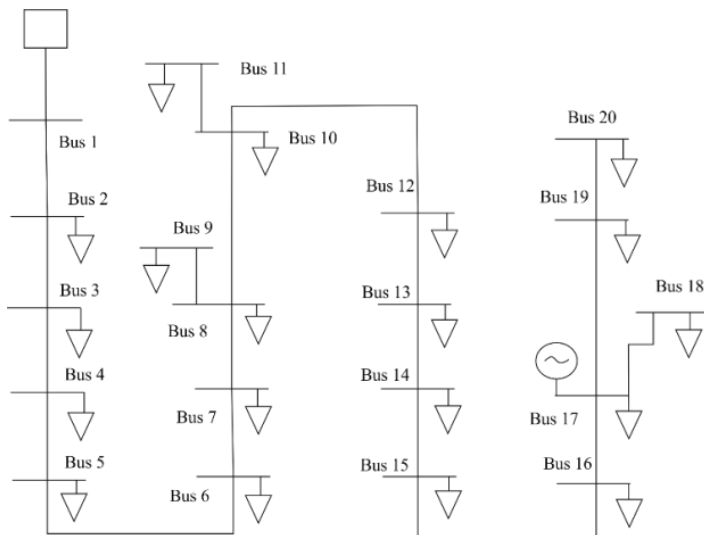
dimana,  $Z$  merupakan matriks impedansi saluran, dengan satuan Ohm. Dengan nilai-nilai yang diperoleh tersebut, maka akan diperoleh jarak lokasi gangguan yang baru. Setelah jarak lokasi gangguan diperbarui dengan iterasi sejumlah  $n$ , maka akan ditentukan konvergensi dari jarak tersebut:

$$|x(n) - x(n-1)| \leq 0,001$$

Ketika jarak tersebut sudah konvergen, maka nilai jarak tersebut akan dijadikan sebagai nilai jarak gangguan pada titik tersebut.

### 3.3 Sistem Kelistrikan

Pada Tugas Akhir ini, sistem kelistrikan yang akan digunakan adalah penyulang jaringan distribusi 20 bus. Sistem ini berkonfigurasi radial yang memiliki 20 bus dengan tingkat tegangan 20 kV. Pada Gambar 3.6 menunjukkan *single line diagram* dari jaringan distribusi yang akan digunakan pada Tugas Akhir ini. Pada Tabel 3.1 adalah data impedansi fasa dan panjang saluran distribusi yang digunakan dimodelkan di *software* ETAP 12.6.0. Pemodelan kabel pada penyulang, dimodelkan dengan impedansi pada ETAP.



**Gambar 3.5** *Single Line Diagram* Penyulang



**Tabel 3.1** Data Impedansi dan Panjang Saluran Penyulang

Dari Bus	Ke Bus	Panjang Saluran (m)	Resistansi Saluran (R)	Reaktansi Saluran (X)
1	2	50,55	0,01339575	0,0065715
2	3	186,35	0,0627785	0,030797
3	4	81,8	0,0844555	0,041431
4	5	38,22	0,0945838	0,0463996
5	6	151,6	0,1347578	0,0661076
6	7	48	0,1474778	0,0723476
7	8	211	0,2033928	0,0997776
8	9	50	0,2166428	0,1062776
8	10	205,89	0,25795365	0,1265433
10	11	270,64	0,32967325	0,1617265
10	12	566,85	0,4081689	0,2002338
12	13	249,3	0,4742334	0,2326428
13	14	31,46	0,4825703	0,2367326
14	15	242,5	0,5468328	0,2682576
15	16	33,4	0,5556838	0,2725996
16	17	64,49	0,57277365	0,2809833
17	18	100	0,59927365	0,2939833
17	19	22,48	0,57873085	0,2839057
19	20	33,7	0,58766135	0,2882867

Pada penyulang ini juga terdapat beban-beban yang dimodelkan dalam ETAP sebagai beban statis. Pada Tabel 3.2, terdapat data-data pembebanan pada setiap bus pada penyulang, sebagai berikut:

**Tabel 3.2** Data Beban pada Penyulang

Bus	Daya					
	P (MW)			Q (MVAR)		
	A-N	B-N	C-N	A-N	B-N	C-N
2	0,960	5,700	0,576	0,280	1,873	0,168
3	0,693	5,880	0,891	0,099	1,194	0,127
4	3,900	0,774	0,569	0,889	0,201	0,190
5	5,970	0,000	0,995	0,600	1,000	0,100
6	5,940	0,970	0,679	0,847	0,243	0,170

**Tabel 3.2** Data Beban pada Penyulang (Lanjutan)

Bus	Daya					
	P (MW)			Q (MVAR)		
	A	B	C	A	B	C
7	5,922	0,966	1,938	0,964	0,259	0,494
8	5,766	0,945	1,563	1,659	0,327	0,341
9	5,640	0,970	0,651	2,047	0,243	0,257
10	3,860	1,850	0,568	1,049	0,760	0,195
11	5,880	0,776	0,990	1,192	0,194	0,141
12	3,992	0,897	0,916	0,253	0,070	0,401
13	0,006	0,001	0,004	0,001	0,000	0,001
14	1,886	0,001	0,000	0,665	6,000	0,800
15	3,960	6,596	0,784	0,564	2,343	0,159
16	0,890	5,526	2,997	0,456	2,338	0,134
17	2,910	5,520	1,638	0,729	2,352	0,746
18	1,162	4,308	0,720	1,627	4,177	0,540
19	1,980	5,958	0,970	0,282	0,709	0,243
20	5,760	1,980	0,992	1,680	0,282	0,126

Dengan data beban tersebut, maka diperoleh nilai arus beban dan tegangan hasil aliran daya pada tiap bus. Tabel 3.3 dan Tabel 3.4, terdapat hasil dari arus beban pada setiap bus dan tegangan bus yang diperoleh.

**Tabel 3.3** Data Arus Beban pada Penyulang

Bus	Fasa A (A)	Fasa B (A)	Fasa C (A)
2	68,458	287,896	312,198
3	65,692	240,733	314,854
4	205,546	213,243	57,683
5	306,249	323,918	30,28
6	289,816	311,023	67,405
7	334,314	308,242	102,714
8	325,8865	272,8782	81,1269
9	295,1	297,7	72,8
10	186,6204	230,362	92,37955
11	302,5	292,9	71,9
12	183,709	196,884	67,762

**Tabel 3.3** Data Arus Beban pada Penyulang (lanjutan)

Bus	Fasa A (A)	Fasa B (A)	Fasa C (A)
13	0,389	0,278	0,122
14	70,092	257,977	98,736
15	183,3272	426,802	316,977
16	170,5937	268,267	309,0456
17	153,0901	335,8094	271,3263
18	121,3	291,5	277,0
19	406,4	557,0	403,4
20	292,0	296,0	116,4

**Tabel 3.4** Data Tegangan Bus pada Penyulang

Bus	Fasa A (kV)	Fasa B (kV)	Fasa C (kV)
1	11,547	-5,774+10i	-5,774-10i
2	11,494+0,02i	-5,729+9,922i	-5,766-9,947i
3	11,301+0,138i	-5,571+9,65i	-5,718-9,785i
4	11,219+0,176i	-5,505+9,535i	-5,703-9,72i
5	11,182+0,195i	-5,476+9,484i	-5,705-9,685i
6	11,048+0,27i	-5,366+9,295i	-5,68-9,566i
7	11,01+0,288i	-5,334+9,239i	-5,679-9,526i
8	10,859+0,36i	-5,204+9,013i	-5,653-9,371i
9	10,855+0,36i	-5,201+9,009i	-5,652-9,37i
10	10,751+0,413i	-5,113+8,82i	-5,634-9,229i
11	10,728+0,431i	-5,099+8,796i	-5,63-9,224i
12	10,538+0,497i	-4,932+8,373i	-5,605-8,866i
13	10,46+0,512i	-4,864+8,192i	-5,594-8,714i
14	10,45+0,511i	-4,852+8,172i	-5,6-8,69i
15	10,379+0,544i	-4,814+8,012i	-5,575-8,552i
16	10,372+0,544i	-4,806+7,999i	-5,567-8,54i
17	10,361+0,543i	-4,794+7,978i	-5,572-8,515i
18	10,357+0,543i	-4,787+7,968i	-5,568-8,508i
19	10,358+0,543i	-4,791+7,974i	-5,57-8,512i
20	10,355+0,543i	-4,789+7,97i	-5,569-8,511i

Pada penyulang ini, digunakan pembangkit terdistribusi yang dimodelkan pada ETAP. Tabel 3.5, terdapat data pembangkit terdistribusi yang dimodelkan, yang datanya sebagai berikut:

**Tabel 3.5** Data Pembangkit Terdistribusi

Data Pembangkit Terdistribusi	Nilai
Daya Aktif	2 MW
Tegangan	20 kV
Daya VA	2,353 MVA
$X_d'/R$	28
$X_2/R_2$	9
$X_0/R_0$	7

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB IV

### SIMULASI DAN ANALISIS

#### 4.1 Simulasi Gangguan pada Penyulang

Pada Tugas Akhir ini, digunakan *software* ETAP dalam melakukan simulasi hubung singkat. Pada simulasi tersebut, akan diperoleh nilai arus gangguan pada bus yang terganggu saat terjadi hubung singkat dan tegangan yang terbaca pada gardu induk saat terjadi hubung singkat. Data-data tersebut akan digunakan dalam menentukan estimasi lokasi gangguan. Dalam simulasi ini, nilai kapasitas pembangkit terdistribusi kecil, sehingga arus kontribusi dari pembangkit terdistribusi dapat diabaikan. Data simulasi hubung singkat yang digunakan dalam pemodelan di *software* ETAP, terdapat pada Tabel 4.1 sebagai berikut:

**Tabel 4.1** Data Gardu Induk Penyulang

Data	Nilai
Tegangan 3 fasa	20 kV
Tegangan 1 fasa	11,547 kV
MVAsc 3 fasa	100
MVAsc 1 fasa	100
kAsc 3 fasa	2,887
kAsc 1 fasa	2,887
X/R	10

Pada *software* ETAP 12.6, dilakukan simulasi untuk memperoleh nilai arus hubung singkat pada bus yang terganggu dan tegangan yang terukur di gardu induk saat gangguan tersebut terjadi. Tabel 4.2, Tabel 4.3, dan Tabel 4.4 adalah data arus simulasi hubung singkat yang diperoleh dari MATLAB pada gangguan satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, dan fasa ke fasa. Hasil ini membandingkan antara sistem yang seimbang dengan sistem yang tidak seimbang. Tabel 4.5, Tabel 4.6, dan Tabel 4.7 merupakan data tegangan yang terukur di gardu induk saat gangguan terjadi di bus yang terganggu pada gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, dan fasa ke fasa. Hasil ini membandingkan antara sistem yang seimbang dengan sistem yang tidak seimbang.

**Tabel 4.2** Arus Fasa A pada Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Bus	Tidak Seimbang (kA)	Seimbang (kA)
1	0,2872 - 2,8724i	0,296 – 2,866i
2	0,2957 - 2,8658i	0,326 – 2,841i
3	0,3264 - 2,8414i	0,339 – 2,83i
4	0,3396 - 2,8305i	0,346 – 2,825i
5	0,3457 - 2,8254i	0,369- 2,805i
6	0,3694 - 2,8051i	0,377 – 2,799i
7	0,3767 - 2,7986i	0,416 – 2,763i
8	0,4083 - 2,7700i	0,408- 2,770i
9	0,4156 - 2,7632i	0,475 – 2,704i
10	0,4380 - 2,7418i	0,438 – 2,742i
11	0,4751 - 2,7044i	0,514 – 2,663i
12	0,5136 - 2,6631i	0,544 – 2,628i
13	0,5442 - 2,6283i	0,548 – 2,624i
14	0,5479 - 2,6239i	0,576 – 2,589i
15	0,5760 - 2,5899i	0,579 – 2,585i
16	0,5797 - 2,5852i	0,598 – 2,562i
17	0,5869 - 2,5761i	0,587 – 2,576i
18	0,5978 - 2,5621i	0,589 – 2,573i
19	0,5894 - 2,5730i	0,593 – 2,568i
20	0,5931 - 2,5683i	0,296 – 2,866i

**Tabel 4.3** Arus Fasa B Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah

Bus	Tidak Seimbang (kA)	Seimbang (kA)
1	2,344+1,685i	-2,631+1,188i
2	2,33+1,68i	-2,63+1,177i
3	2,285+1,651i	-2,624+1,138i
4	2,265+1,642i	-2,621+1,121i
5	2,256+1,637i	-2,62+1,113i
6	2,22+1,619i	-2,614+1,083i
7	2,208+1,614i	-2,612+1,073i
8	2,156+1,595i	-2,601+1,022i
9	2,147+1,598i	-2,603+1,031i
10	2,102+1,582i	-2,58+0,941i
11	2,056+1,592i	-2,593+0,992i
12	1,949+1,563i	-2,563+0,887i

**Tabel 4.3** Arus Fasa B Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah (Lanjutan)

Bus	Tidak Seimbang (kA)	Seimbang (kA)
13	1,882+1,556i	-2,548+0,843i
14	1,873+1,555i	-2,546+0,837i
15	1,813+1,551i	-2,531+0,796i
16	1,806+1,55i	-2,529+0,791i
17	1,793+1,55i	-2,518+0,763i
18	1,776+1,551i	-2,525+0,78i
19	1,789+1,55i	-2,523+0,776i
20	1,784+1,551i	-2,521+0,771i

**Tabel 4.4** Arus Fasa C Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah

Bus	Tidak Seimbang (kA)	Seimbang (kA)
1	-2,631+1,187i	2,344+1,685i
2	-2,627+1,186i	2,334+1,689i
3	-2,611+1,187i	2,298+1,703i
4	-2,606+1,185i	2,282+1,709i
5	-2,603+1,187i	2,274+1,712i
6	-2,59+1,186i	2,245+1,722i
7	-2,585+1,185i	2,235+1,726i
8	-2,564+1,175i	2,185+1,742i
9	-2,563+1,165i	2,195+1,739i
10	-2,539+1,158i	2,105+1,764i
11	-2,53+1,112i	2,156+1,75i
12	-2,462+1,1i	2,05+1,776i
13	-2,428+1,071i	2,004+1,785i
14	-2,423+1,069i	1,998+1,786i
15	-2,389+1,042i	1,955+1,794i
16	-2,386+1,035i	1,949+1,795i
17	-2,379+1,028i	1,92+1,799i
18	-2,373+1,011i	1,938+1,796i
19	-2,378+1,024i	1,934+1,797i
20	-2,376+1,018i	1,928+1,798i

**Tabel 4.5** Arus pada Fasa B Hubung Singkat Fasa ke Fasa

Bus	Tidak Seimbang (kA)	Seimbang (kA)
1	2,5i	-2,5i



**Tabel 4.5** Arus pada Fasa B Hubung Singkat Fasa ke Fasa (Lanjutan)

Bus	Tidak Seimbang (kA)	Seimbang (kA)
2	0,001+2,49i	0,008-2,495i
3	0,012+2,459i	0,036-2,477i
4	0,015+2,446i	0,049-2,468i
5	0,018+2,439i	0,054-2,465i
6	0,024+2,414i	0,077-2,449i
7	0,025+2,406i	0,083-2,444i
8	0,026+2,369i	0,113-2,422i
9	0,019+2,365i	0,12-2,417i
10	0,02+2,33i	0,141-2,4i
11	-0,011+2,305i	0,176-2,371i
12	-0,01+2,218i	0,213-2,339i
13	-0,027+2,168i	0,242-2,312i
14	-0,028+2,162i	0,246-2,308i
15	-0,044+2,116i	0,273-2,281i
16	-0,048+2,111i	0,277-2,278i
17	-0,052+2,102i	0,284-2,271i
18	-0,063+2,091i	0,294-2,259i
19	-0,054+2,099i	0,286-2,268i
20	-0,058+2,096i	0,29-2,264i

**Tabel 4.6** Arus pada Fasa C Hubung Singkat Fasa ke Fasa

Bus	Tidak Seimbang (kA)	Seimbang (kA)
1	-2,5i	2,5i
2	-0,001-2,49i	-0,008+2,495i
3	-0,012-2,459i	-0,036+2,477i
4	-0,015-2,446i	-0,049+2,468i
5	-0,018-2,439i	-0,054+2,465i
6	-0,024-2,414i	-0,077+2,449i
7	-0,025-2,406i	-0,083+2,444i
8	-0,026-2,369i	-0,113+2,422i
9	-0,019-2,365i	-0,12+2,417i
10	-0,02-2,33i	-0,141+2,4i
11	0,011-2,305i	-0,176+2,371i
12	0,01-2,218i	-0,213+2,339i
13	0,027-2,168i	-0,242+2,312i

**Tabel 4.6** Arus pada Fasa C Hubung Singkat Fasa ke Fasa (Lanjutan)

Bus	Tidak Seimbang (kA)	Seimbang (kA)
14	0,028-2,162i	-0,246+2,308i
15	0,044-2,116i	-0,273+2,281i
16	0,048-2,111i	-0,277+2,278i
17	0,052-2,102i	-0,284+2,271i
18	0,063-2,091i	-0,294+2,259i
19	0,054-2,099i	-0,286+2,268i
20	0,058-2,096i	-0,29+2,264i

**Tabel 4.7** Tegangan Fasa A di Gardu Induk Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Bus Terganggu	Tidak Seimbang (kV)	Seimbang (kV)
2	0,023+0,036i	0,023-0,036i
3	0,108+0,168i	0,108-0,168i
4	0,146+0,225i	0,146-0,225i
5	0,164+0,251i	0,164-0,251i
6	0,235+0,354i	0,235-0,354i
7	0,258+0,385i	0,258-0,386i
8	0,359+0,523i	0,36-0,521i
9	0,384+0,554i	0,383-0,557i
10	0,46+0,652i	0,465-0,638i
11	0,594+0,815i	0,588-0,833i
12	0,743+0,984i	0,743-0,984i
13	0,87+1,12i	0,87-1,12i
14	0,886+1,136i	0,886-1,137i
15	1,01+1,262i	1,01-1,262i
16	1,027+1,279i	1,027-1,279i
17	1,06+1,311i	1,062-1,3i
18	1,111+1,36i	1,109-1,371i
19	1,072+1,322i	1,072-1,322i
20	1,089+1,338i	1,089-1,338i

**Tabel 4.8** Tegangan Fasa B di Gardu Induk Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah

Bus Terganggu	Tidak Seimbang (kV)	Seimbang (kV)
2	0,02-0,04i	-0,043-0,002i

**Tabel 4.8** Tegangan Fasa B di Gardu Induk Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah (Lanjutan)

Bus Terganggu	Tidak Seimbang (kV)	Seimbang (kV)
3	0,09-0,17i	-0,2-0,009i
4	0,12-0,23i	-0,268-0,014i
5	0,14-0,26i	-0,299-0,016i
6	0,19-0,36i	-0,424-0,027i
7	0,21-0,4i	-0,463-0,031i
8	0,28-0,54i	-0,631-0,052i
9	0,3-0,57i	-0,674-0,053i
10	0,34-0,67i	-0,785-0,084i
11	0,42-0,86i	-1,015-0,093i
12	0,48-1,03i	-1,224-0,151i
13	0,53-1,18i	-1,405-0,193i
14	0,54-1,19i	-1,427-0,199i
15	0,58-1,33i	-1,598-0,244i
16	0,58-1,35i	-1,621-0,25i
17	0,59-1,39i	-1,657-0,27i
18	0,61-1,45i	-1,742-0,275i
19	0,6-1,41i	-1,681-0,267i
20	0,6-1,43i	-1,704-0,274i

**Tabel 4.9** Tegangan Fasa C di Gardu Induk Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah

Bus Terganggu	Tidak Seimbang (kV)	Seimbang (kV)
2	-0,04	0,02+0,038i
3	-0,2+0,01i	0,092+0,178i
4	-0,27+0,01i	0,122+0,239i
5	-0,3+0,01i	0,136+0,267i
6	-0,43+0,01i	0,189+0,381i
7	-0,47+0,01i	0,205+0,416i
8	-0,64+0,02i	0,271+0,572i
9	-0,68+0,02i	0,291+0,61i
10	-0,8+0,02i	0,32+0,721i
11	-1,01+0,04i	0,428+0,926i
12	-1,23+0,04i	0,481+1,135i
13	-1,4+0,06i	0,535+1,313i
14	-1,42+0,06i	0,542+1,335i

**Tabel 4.9** Tegangan Fasa C di Gardu Induk Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah (Lanjutan)

Bus Terganggu	Tidak Seimbang (kV)	Seimbang (kV)
15	-1,59+0,07i	0,588+1,505i
16	-1,61+0,08i	0,594+1,529i
17	-1,65+0,08i	0,594+1,57i
18	-1,72+0,09i	0,633+1,646i
19	-1,67+0,08i	0,609+1,589i
20	-1,69+0,09i	0,615+1,612i

**Tabel 4.10** Tegangan Fasa B di Gardu Induk Hubung Singkat Fasa ke Fasa

Bus Terganggu	Tidak Seimbang (kV)	Seimbang (kV)
2	-5,79-0,033i	-1,129 – 5,625i
3	-5,846-0,155i	-1,085 – 5,634i
4	-5,872-0,206i	-1,066 – 5,637i
5	-5,885-0,231i	-1,057 – 5,639i
6	-5,93-0,327i	-1,021 – 5,645i
7	-5,944-0,357i	-1,010 – 5,647i
8	-6,004-0,485i	-0,959 – 5,656i
9	-6,02-0,514i	-0,972 – 5,654i
10	-6,062-0,604i	-0,912 – 5,664i
11	-6,15-0,759i	-0,973 – 5,654i
12	-6,222-0,904i	-0,777 – 5,683i
13	-6,291-1,02i	-0,717 – 5,691i
14	-6,299-1,035i	-0,709 – 5,692i
15	-6,367-1,146i	-0,652 – 5,698i
16	-6,376-1,161i	-0,644 – 5,699i
17	-6,395-1,19i	-0,628 – 5,700i
18	-6,425-1,235i	-0,653 – 5,698i
19	-6,402-1,2i	-0,634 – 5,700i
20	-6,412-1,216i	-0,642 – 5,699i

**Tabel 4.11** Tegangan Fasa C di Gardu Induk Hubung Singkat Fasa ke Fasa

Bus Terganggu	Tidak Seimbang (kV)	Seimbang (kV)
2	-5,757+0,034i	-1,1291 – 5,6259i
3	-5,696+0,154i	-1,0847 – 5,6342i

**Tabel 4.11** Tegangan Fasa C di Gardu Induk Hubung Singkat Fasa ke Fasa (Lanjutan)

Bus Terganggu	Tidak Seimbang (kV)	Seimbang (kV)
4	-5,672+0,209i	-1,0664 – 5,6375i
5	-5,662+0,232i	-1,0573 – 5,6391i
6	-5,617+0,327i	-1,0208 – 5,6455i
7	-5,604+0,356i	-1,0093 – 5,6474i
8	-5,542+0,484i	-0,9590 – 5,6557i
9	-5,526+0,514i	-0,9716 – 5,6536i
10	-5,483+0,603i	-0,9110 – 5,6632i
11	-5,397+0,758i	-0,9725 – 5,6533i
12	-5,325+0,902i	-0,7756 – 5,6820i
13	-5,256+1,024i	-0,7158 – 5,6893i
14	-5,249+1,038i	-0,7078 – 5,6902i
15	-5,183+1,144i	-0,6503 – 5,6966i
16	-5,172+1,16i	-0,6422 – 5,6974i
17	-5,154+1,188i	-0,6261 – 5,6991i
18	-5,121+1,234i	-0,6502 – 5,6965i
19	-5,147+1,199i	-0,6318 – 5,6985i
20	-5,136+1,215i	-0,6398 – 5,6976i

## 4.2 Perhitungan Estimasi Lokasi Jarak Gangguan

Pada Tugas Akhir ini, dilakukan estimasi lokasi gangguan pada penyulang yang digunakan pada Tugas Akhir ini. Metode yang akan digunakan adalah metode impedansi. Ada beberapa kasus yang akan dilakukan dengan metode ini, antara lain:

- Kasus 1 adalah perhitungan penentuan estimasi lokasi gangguan hubung singkat pada bus 2 dengan tipe gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dan akan ditampilkan hasil estimasi gangguan untuk seluruh bus.
- Kasus 2 adalah perhitungan penentuan estimasi lokasi gangguan hubung singkat pada bus 3 dengan tipe gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah dan akan ditampilkan hasil estimasi gangguan untuk seluruh bus.
- Kasus 3 adalah perhitungan penentuan estimasi lokasi gangguan hubung singkat pada bus 4 dengan tipe gangguan hubung singkat fasa ke fasa dan akan ditampilkan hasil estimasi gangguan untuk seluruh bus.

### 4.3 Perhitungan Estimasi Lokasi Jarak Gangguan pada Kasus 1

Data yang dibutuhkan dalam perhitungan estimasi lokasi gangguan, hubung singkat satu fasa ke tanah sudah diperoleh melalui simulasi hubung singkat dengan *software* ETAP 12.6.0. Data yang diperoleh antara lain, nilai impedansi fasa saluran, arus gangguan, dan tegangan yang terukur pada gardu induk (Grid). Perhitungan untuk estimasi lokasi gangguan dengan menggunakan metode impedansi adalah sebagai berikut:

1. Parameter gangguan:
  - a. Jenis gangguan adalah gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah
  - b. Impedansi fasa sebesar  $0,0134 + 0,0066i \Omega$
  - c. Arus hubung singkat dari *grid* menuju bus 2 pada fasa A sebesar  $(0,2957 - 2,8658i) \text{ kA}$
  - d. Tegangan di gardu induk pada fasa A sebesar  $(0,023 + 0,036i) \text{ kV}$
  - e. Total jarak saluran sebesar  $2,261 \text{ kM}$
  - f. Total impedansi saluran ( $Z_{aa}$ ,  $Z_{bb}$ , dan  $Z_{cc}$ ) sebesar  $(0,59927365 + 0,2939833i) \Omega$
2. Perhitungan nilai arus gangguan pada bus ( $I_f$ ):  

$$I_f = ((0,2957 - 2,8658i) \times 1.000) - 0$$

$$= (296 - 2.866i) \text{ A}$$

3. Perhitungan nilai M dan N:

$$M = \sum_{k=\{a, b, c\}} [Z_{akr} \cdot I_{skr} - Z_{akl} \cdot I_{skl}]$$

$$M = (0,599 \times 296) - (0,294 \times (-2.866))$$

$$M = 1.019,74$$

$$N = \sum_{k=\{a, b, c\}} [Z_{akr} \cdot I_{skl} + Z_{akl} \cdot I_{skr}]$$

$$N = (0,599 \times (-2.866)) - (0,294 \times 296)$$

$$N = -1.630,48$$

4. Menentukan nilai x:

$$x = \frac{V_{sar} \cdot I_{Fai} - V_{sai} \cdot I_{Far}}{M \cdot I_{Fai} - N \cdot I_{Far}}$$

$$x = \frac{23 \times (-2866) - (-36 \times 296)}{1.019,74 \times (-2866) - 1.630,48} \times 296$$

$$x = 0,0024$$

5. Setelah diulang, nilai  $x$  konvergen dengan  $x = 0,0024$

6. Menentukan estimasi jarak *real*:

$$L = x * (\text{Total jarak saluran})$$

$$= 0,0024 * 2261$$

$$= 50,55 \text{ meter}$$

Dari perhitungan yang diperoleh dengan menggunakan metode impedansi pada bus 2, didapatkan jarak estimasi lokasi gangguan sebesar 50,55 meter. Jarak sesungguhnya antara bus 1 dengan bus 2 sebesar 50,55 meter. Dari hasil perhitungan, dapat diperoleh selisih perhitungan antara jarak sebenarnya dengan jarak hasil perhitungan adalah sekitar  $9,649 \times 10^{-12}$  meter. Hasil perhitungan tersebut hampir sama dengan jarak sesungguhnya. Perhitungan ini juga dilakukan pada 19 bus lainnya dengan hasil pada Tabel 4.12:

**Tabel 4.12** Hasil Metode Impedansi pada Gangguan 1 Fasa ke Tanah

Bus		Estimasi (meter)	Lokasi (meter)	Selisih (meter)	Error (%)
1	2	50,55	50,55	$9,649 \times 10^{-12}$	0,000%
1	3	236,90	236,9	$2,274 \times 10^{-13}$	0,000%
1	4	318,70	318,7	$4,547 \times 10^{-12}$	0,000%
1	5	356,92	356,92	$3,979 \times 10^{-13}$	0,000%
1	6	508,52	508,52	$2,382 \times 10^{-11}$	0,000%
1	7	556,52	556,52	$7,503 \times 10^{-12}$	0,000%
1	8	767,52	767,52	$8,981 \times 10^{-12}$	0,000%
1	9	817,52	817,52	$1,046 \times 10^{-11}$	0,000%
1	10	973,41	973,41	$9,095 \times 10^{-12}$	0,000%
1	11	1244,05	1244,05	$4,548 \times 10^{-13}$	0,000%
1	12	1540,26	1540,26	$1,751 \times 10^{-11}$	0,000%
1	13	1789,56	1789,56	$7,503 \times 10^{-12}$	0,000%
1	14	1821,02	1821,02	0	0,000%
1	15	2063,52	2063,52	$9,095 \times 10^{-13}$	0,000%
1	16	2096,92	2096,92	$8,231 \times 10^{-11}$	0,000%
1	17	2161,41	2161,41	$1,069 \times 10^{-10}$	0,000%
1	18	2261,41	2261,41	0	0,000%
1	19	2183,89	2183,89	$4,548 \times 10^{-13}$	0,000%

**Tabel 4.12** Hasil Metode Impedansi pada Gangguan 1 Fasa ke Tanah (lanjutan)

Bus		Estimasi (meter)	Lokasi (meter)	Selisih (meter)	Error (%)
1	20	2217,59	2217,59	$8,640 \times 10^{-12}$	0,000%

Pada data yang diperoleh pada Tabel 4.12, selisih terbesar yang diperoleh antara jarak estimasi dengan jarak sebenarnya sebesar  $1,751 \times 10^{-11}$  meter. Rata-rata selisih jarak yang diperoleh sebesar  $4,780 \times 10^{-12}$  meter.

#### 4.4 Perhitungan Estimasi Lokasi Jarak Gangguan pada Kasus 2

Data yang dibutuhkan dalam perhitungan estimasi lokasi gangguan, hubung singkat dua fasa ke tanah sudah diperoleh melalui simulasi hubung singkat dengan *software* ETAP 12.6.0. Data yang diperoleh antara lain, nilai impedansi fasa saluran, arus gangguan, dan tegangan yang terukur pada gardu induk (Grid). Perhitungan untuk estimasi lokasi gangguan dengan menggunakan metode impedansi adalah sebagai berikut:

1. Parameter gangguan:
  - a. Jenis gangguan adalah gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah
  - b. Impedansi fasa sebesar  $0,0628 + 0,0308i \Omega$
  - c. Arus hubung singkat dari *grid* menuju bus 3 pada fasa B sebesar  $(2,285+1,651i)$  kA, dan fasa C sebesar  $(-2,62+1,14i)$  kA
  - d. Tegangan di gardu induk pada fasa B sebesar  $(0,09-0,17i)$  kV dan fasa C sebesar  $(-0,2+0,01i)$  kV
  - e. Total jarak saluran sebesar 2,261 kM
  - f. Total impedansi saluran ( $Z_{aa}$ ,  $Z_{bb}$ , dan  $Z_{cc}$ ) sebesar  $(0,59927365 + 0,2939833i) \Omega$
2. Perhitungan nilai arus gangguan pada bus ( $I_f$ ):
 
$$I_{f,a} = (2,285+1,651i) \text{ kA} - 0$$

$$= (2,285+1,651i) \text{ kA}$$

$$I_{f,b} = (-2,62+1,14i) \text{ kA} - 0$$

$$= (-2,62+1,14i) \text{ kA}$$



3. Perhitungan nilai M dan N:

$$M_b = \sum_{k=\{a, b, c\}} [ Z_{b_{kr}} \cdot I_{s_{kr}} - Z_{b_{ki}} \cdot I_{s_{ki}} ]$$

$$M_b = 884,04$$

$$M_c = \sum_{k=\{a, b, c\}} [ Z_{c_{kr}} \cdot I_{s_{kr}} - Z_{c_{ki}} \cdot I_{s_{ki}} ]$$

$$M_c = -1913,49$$

$$N_b = \sum_{k=\{a, b, c\}} [ Z_{b_{kr}} \cdot I_{s_{ki}} + Z_{b_{ki}} \cdot I_{s_{kr}} ]$$

$$N_b = 1661,55$$

$$N_c = \sum_{k=\{a, b, c\}} [ Z_{c_{kr}} \cdot I_{s_{ki}} + Z_{c_{ki}} \cdot I_{s_{kr}} ]$$

$$N_c = -56,28$$

4. Menentukan nilai x:

$$\begin{bmatrix} x \\ R_{Fp} \\ R_{Fq} \\ R_{Fpq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 884,04 & 2,285 & 0 & -326,4 \\ 1661,55 & 1,651 & 0 & 2.841,4 \\ -1913,49 & 0 & -2620 & -326,4 \\ -56,28 & 0 & 1140 & 2.841,4 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -90 \\ -170 \\ -200 \\ 10 \end{bmatrix}$$

$$x = 0,1048$$

5. Setelah diulang, nilai x konvergen dengan x = 0,1048

6. Menentukan estimasi jarak *real*:

$$L = x \cdot (\text{Total jarak saluran})$$

$$= 0,1048 \cdot 2261$$

$$L = 236,9 \text{ meter}$$

Dari perhitungan yang diperoleh dengan menggunakan metode impedansi pada bus 3, didapatkan jarak estimasi lokasi gangguan sebesar 236,9 meter. Jarak sesungguhnya antara bus 1 dengan bus 3 sebesar 236,9 meter. Dari hasil perhitungan, dapat diperoleh selisih perhitungan antara jarak sebenarnya dengan jarak hasil perhitungan adalah sekitar  $2,274 \times 10^{-13}$  meter. Hasil perhitungan tersebut hampir sama dengan jarak sesungguhnya. Perhitungan ini juga dilakukan pada 19 bus lainnya dengan hasil pada Tabel 4.13. Pada data yang diperoleh pada Tabel 4.13, selisih terbesar yang diperoleh antara jarak estimasi dengan jarak sebenarnya sebesar  $1,091 \times 10^{-11}$  meter. Rata-rata selisih jarak yang diperoleh sebesar  $2,772 \times 10^{-12}$  meter.

**Tabel 4.13** Hasil Metode Impedansi pada Gangguan 2 Fasa ke Tanah

Bus		Estimasi (meter)	Lokasi (meter)	Selisih (meter)	Error (%)
1	2	50,55	50,55	$2,189 \times 10^{-12}$	0,000%
1	3	236,90	236,90	$2,274 \times 10^{-13}$	0,000%
1	4	318,70	318,70	$2,331 \times 10^{-12}$	0,000%
1	5	356,92	356,92	$1,819 \times 10^{-12}$	0,000%
1	6	508,52	508,52	$1,023 \times 10^{-12}$	0,000%
1	7	556,52	556,52	$3,866 \times 10^{-13}$	0,000%
1	8	767,52	767,52	$1,137 \times 10^{-12}$	0,000%
1	9	817,52	817,52	$4,547 \times 10^{-12}$	0,000%
1	10	973,41	973,41	$6,821 \times 10^{-12}$	0,000%
1	11	1244,05	1244,05	$1,819 \times 10^{-12}$	0,000%
1	12	1540,26	1540,26	$8,413 \times 10^{-12}$	0,000%
1	13	1789,56	1789,56	$2,956 \times 10^{-12}$	0,000%
1	14	1821,02	1821,02	$4,547 \times 10^{-12}$	0,000%
1	15	2063,52	2063,52	$1,364 \times 10^{-12}$	0,000%
1	16	2096,92	2096,92	$8,458 \times 10^{-11}$	0,000%
1	17	2161,41	2161,41	$5,457 \times 10^{-12}$	0,000%
1	18	2261,41	2261,41	0	0,000%
1	19	2183,89	2183,89	$1,091 \times 10^{-11}$	0,000%
1	20	2217,59	2217,59	$4,093 \times 10^{-12}$	0,000%

#### 4.5 Perhitungan Estimasi Lokasi Jarak Gangguan pada Kasus 3

Data yang dibutuhkan dalam perhitungan estimasi lokasi gangguan, hubung singkat fasa ke fasa sudah diperoleh melalui simulasi hubung singkat dengan *software* ETAP 12.6.0. Data yang diperoleh antara lain, nilai impedansi fasa saluran, arus gangguan, dan tegangan yang terukur pada gardu induk (Grid). Perhitungan untuk estimasi lokasi gangguan dengan menggunakan metode impedansi adalah sebagai berikut:

1. Parameter gangguan:
  - a. Jenis gangguan adalah gangguan hubung singkat fasa ke fasa
  - b. Impedansi fasa sebesar  $0,0845 + 0,041i \, \Omega$

- c. Arus hubung singkat dari *grid* menuju bus 4 pada fasa B sebesar  $(0,015+2,446i)$  kA, dan fasa C sebesar  $(-0,015-2,446i)$  kA
  - d. Tegangan di gardu induk pada fasa B sebesar  $(-5,872-0,206i)$  kV dan fasa C sebesar  $(-5,672+0,209i)$  kV
  - e. Total jarak saluran sebesar 2,261 kM
  - f. Total impedansi saluran ( $Z_{aa}$ ,  $Z_{bb}$ , dan  $Z_{cc}$ ) sebesar  $(0,59927365 + 0,2939833i) \Omega$
2. Perhitungan nilai arus gangguan pada bus ( $I_f$ ):  

$$I_f = (0,015+2,446i) \text{ kA} - 0,38$$

$$= 14,84 + 2446,22i \text{ A}$$
  3. Perhitungan nilai M dan N:  

$$M = \sum_{k=\{a, b, c\}} [Z_{b_{k_f}} \cdot I_{s_{k_f}} - Z_{b_{k_i}} \cdot I_{s_{k_i}}]$$

$$M = -1.420,04$$

$$N = \sum_{k=\{a, b, c\}} [Z_{b_{k_f}} \cdot I_{s_{k_i}} + Z_{b_{k_i}} \cdot I_{s_{k_f}}]$$

$$N = 2.940,87$$
  4. Menentukan nilai x:  

$$X = \frac{(V_{s_{p_r}} - V_{s_{q_r}}) \cdot I_{f_{p_i}} - (V_{s_{p_i}} - V_{s_{q_i}}) \cdot I_{f_{p_r}}}{M \cdot I_{f_{p_i}} - N \cdot I_{f_{p_r}}}$$

$$X = 0,1409$$
  5. Setelah diulang, nilai x konvergen dengan  $x = 0,1049$
  6. Menentukan estimasi jarak *real*:  

$$L = X * (\text{Total jarak saluran})$$

$$= 0,1049 * 2261$$

$$= 318,7 \text{ meter}$$

Dari perhitungan yang diperoleh dengan menggunakan metode impedansi pada bus 4, didapatkan jarak estimasi lokasi gangguan sebesar 318,7 meter. Jarak sesungguhnya antara bus 1 dengan bus 4 sebesar 318,7 meter. Dari hasil perhitungan, dapat diperoleh selisih perhitungan antara jarak sebenarnya dengan jarak hasil perhitungan adalah sekitar  $5,684 \times 10^{-14}$  meter. Hasil perhitungan tersebut hampir sama dengan jarak sesungguhnya. Perhitungan ini juga dilakukan pada 19 bus lainnya dengan hasil pada Tabel 4.14:

**Tabel 4.14** Hasil Metode Impedansi pada Gangguan Fasa ke Fasa

Bus		Estimasi (meter)	Lokasi (meter)	Selisih (meter)	Error (%)
1	2	50,55	50,55	$5,258 \times 10^{-13}$	0,000%
1	3	236,90	236,90	$2,274 \times 10^{-13}$	0,000%
1	4	318,70	318,70	$5,684 \times 10^{-14}$	0,000%
1	5	356,92	356,92	$3,979 \times 10^{-13}$	0,000%
1	6	508,52	508,52	$1,023 \times 10^{-12}$	0,000%
1	7	556,52	556,52	$1,592 \times 10^{-12}$	0,000%
1	8	767,52	767,52	$2,387 \times 10^{-12}$	0,000%
1	9	817,52	817,52	$7,958 \times 10^{-13}$	0,000%
1	10	973,41	973,41	$1,137 \times 10^{-13}$	0,000%
1	11	1244,05	1244,05	$1,819 \times 10^{-12}$	0,000%
1	12	1540,26	1540,26	$3,865 \times 10^{-12}$	0,000%
1	13	1789,56	1789,56	$2,956 \times 10^{-12}$	0,000%
1	14	1821,02	1821,02	$4,548 \times 10^{-12}$	0,000%
1	15	2063,52	2063,52	$3,638 \times 10^{-12}$	0,000%
1	16	2096,92	2096,92	$7,731 \times 10^{-12}$	0,000%
1	17	2161,41	2161,41	$9,095 \times 10^{-13}$	0,000%
1	18	2261,41	2261,41	$2,274 \times 10^{-12}$	0,000%
1	19	2183,89	2183,89	$1,819 \times 10^{-12}$	0,000%
1	20	2217,59	2217,59	$2,729 \times 10^{-12}$	0,000%

Pada data yang diperoleh pada Tabel 4.14, selisih terbesar yang diperoleh antara jarak estimasi dengan jarak sebenarnya sebesar  $4,548 \times 10^{-12}$  meter. Rata-rata selisih jarak yang diperoleh adalah  $2,407 \times 10^{-12}$  meter.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang sudah diperoleh, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil estimasi lokasi gangguan dengan metode impedansi, bergantung pada nilai arus gangguan pada bus yang terganggu, tegangan pada gardu induk, dan nilai impedansi fasa pada saluran.
2. Hasil simulasi dan analisis menunjukkan bahwa melakukan estimasi lokasi gangguan dengan metode impedansi ini dapat digunakan untuk menentukan lokasi gangguan hubung singkat pada sistem distribusi.
3. Hasil simulasi dengan menggunakan metode impedansi, menunjukkan *error* terbesar untuk gangguan fasa ke tanah sebesar  $1,751 \times 10^{-11}$  meter (0%), gangguan 2 fasa ke tanah sebesar  $1,091 \times 10^{-11}$  meter (0%), dan gangguan fasa ke fasa sebesar  $4,548 \times 10^{-12}$  meter (0%).

#### **5.2 Saran**

Saran yang dapat diperoleh dari tugas akhir ini:

1. Dibutuhkan data yang lebih akurat dalam menentukan nilai tegangan pada gardu induk ketika terdapat arus kontribusi dari pembangkit terdistribusi sehingga dapat menghasilkan data yang lebih akurat sesuai keadaan sebenarnya.
2. Dibutuhkan perhitungan arus hubung singkat yang melibatkan impedansi gangguan

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Marsudi, D., “Optimasi Sistem Tenaga Listrik”. Graha Ilmu, 2004
- [2] Short, T.A., “*Electric Power Distribution Handbook*”. CRC PRESS. ISBN 0-8493-1791-6, 2004
- [3] Chowdhury, S., S.P. Chowdhury and P. Crossley, “*Microgrids and Active Distribution Networks*”. The Institution of Engineering and Technology. London. ISBN 978-1-84919-014-5, 2009
- [4] Al Qoyyimi, Thoriq Aziz, “Penentuan Lokasi Gangguan Hubung Singkat Pada Jaringan Distribusi 20 Kv Penyulang Tegalsari Surabaya Dengan Metode Impedansi Berbasis GIS (Geographic Information System)”, POMMITS, 2017
- [5] J. U. N. Nunes, A. S. Bretas, “*A Impedance-Based Fault Location Formulation for Unbalanced Distributed Generation Systems*”, In: The Power of Technology for a Sustainable Society, 2011
- [6] J. U. N. Nunes, A. S. Bretas, “*Extended Impedance-Based Fault Location Formulation for Active Distribution Systems*”, IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM), 2016



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Christian Togi Sihol Pardamean, lahir di Bekasi pada tanggal 15 Desember 1994. Penulis menempuh pendidikan formal dari SD Strada Budi Luhur II Bekasi yang diselesaikan pada tahun 2007, dilanjutkan di SMP Strada Budi Luhur yang diselesaikan pada tahun 2010, kemudian pindah ke SMA Marsudirini Bekasi yang diselesaikan pada tahun 2013. Penulis melanjutkan pendidikan Strata 1 di Departemen Teknik Elektro,

Fakultas Teknologi Elektro, Insitut Teknologi Sepuluh Nopember dan menjadi mahasiswa pada tahun 2013. Penulis memiiah bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Selain mengikuti kegiatan akademik, penulis pernah tergabung dalam HIMATEKTRO ITS pada semester 5-6 perkuliahan, sebagai staf Biro Kaderisasi, Departemen Pengembangan Sumber Daya. Penulis dapat dihubungi melalui email di [christiantogi15@gmail.com](mailto:christiantogi15@gmail.com).